

**Recuperação de edificado afeto ao Exército. Sistema de
inspeção e diagnóstico de anomalias em coberturas em
terraço**

João Filipe Melro da Conceição

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Militar

Orientadores

Doutor Jorge Manuel Calião Lopes de Brito

Doutora Inês dos Santos Flores Barbosa Colen

Júri

Presidente: Doutor João Pedro Ramôa Ribeiro Correia

Orientador: Doutor Jorge Manuel Calião Lopes de Brito

Vogais: Engenheiro Jorge Manuel Grandão Lopes

Tenente-coronel Carlos Alberto Rocha Afonso

Outubro de 2015

Resumo

O objetivo desta dissertação é a proposta de um sistema de apoio à inspeção e diagnóstico de anomalias em coberturas em terraço, tendo em vista a normalização e sistematização das inspeções de forma a auxiliar os intervenientes responsáveis por estas ações. Numa primeira fase, são identificadas e classificadas as anomalias e as respetivas causas prováveis e, seguidamente, elaboradas fichas de anomalias, nas quais são incluídas informações relacionadas com as mesmas, tais como a sua designação, descrição sumária do fenómeno de degradação, causas e consequências possíveis, aspetos a inspecionar, parâmetros de inspeção e, finalmente, classificação da anomalia de acordo com o nível de gravidade / urgência de reparação. Nesta fase, são elaboradas as matrizes de correlação anomalias - causas e inter - anomalias.

Posteriormente, são identificadas e classificadas as técnicas de diagnóstico das anomalias e das causas, recorrendo a ensaios não destrutivos de realização *in situ* e, por fim, é construída a matriz de correlação anomalias - técnicas de diagnóstico. São apresentadas fichas individuais das técnicas, onde constam informações como a designação, os objetivos, o equipamento necessário, a descrição do método, as vantagens e as limitações.

Finalmente, apresenta-se a validação do sistema classificativo proposto, realizada através de uma campanha de inspeções a 105 coberturas planas. Como complemento, é apresentado um tratamento estatístico completo dos dados recolhidos, de forma a retirar conclusões relevantes para a temática.

A normalização das inspeções permite aumentar a eficácia e eficiência das ações a tomar no âmbito da patologia, tal como permite avaliações o menos subjetivas possível. Por outro lado, a implementação prática deste sistema, através de uma ferramenta informática, seria uma mais-valia, uma vez que iria permitir auxiliar o inspetor nas atividades de inspeção inseridas em estratégias de manutenção pró-ativa do tipo preditivas.

Palavras-chave: sistema de inspeção, coberturas planas, anomalias, causas, diagnóstico, normalização.

Abstract

This thesis intends to create a support system for the inspection and diagnosis of flat roofs, for the standardization and systematization of inspections, assisting the parties responsible for these actions. First of all, anomalies and related causes must be identified and classified, so that anomaly forms can be prepared, including related information such as the designation, a brief description, possible causes and consequences, the main aspects to be checked, inspection parameters and a classification of the anomaly according to the associated severity. At this point correlation matrices between anomalies and causes and inter-anomalies were built.

Afterwards, non-destructive in-situ diagnosis techniques were identified and classified according to the best-fitting anomalies and related causes classification system. All this information was gathered in individual inspection forms. Subsequently, a correlation matrix between anomalies and diagnosis techniques was created. Finally, the dissertation presents a validation of all systems proposed based on information collected from the inspections campaign including 105 cases. In addition, a complete statistical treatment of these results was prepared in order to get more detailed information about flat roofs.

Inspections' standardization allows improving, simultaneously, inspections' effectiveness and efficiency, by making them less subjective. On the other hand, the implementation of a system for inspections and diagnosis, through a computer tool, will be useful to technicians in charge of inspection activities, included in strategies of proactive maintenance from the predictive type.

Keywords: inspection system, flat roofs, standardization, anomalies, causes, diagnosis.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer ao Professor Jorge de Brito, meu orientador científico, pela total disponibilidade no acompanhamento do meu trabalho, pelo rigor exigido, pelas orientações transmitidas e pela sua contribuição para a minha formação profissional e pessoal.

À Professora Inês Flores-Colen, minha co-orientadora, agradeço o aconselhamento, o material fornecido e as orientações transmitidas.

Ao meu camarada de mestrado, Bruno Poça, pela colaboração prestada no trabalho em equipa.

Ao Tenente Coronel Rocha Afonso, por facilitar as visitas às coberturas das várias Unidades e pela disponibilidade demonstrada.

Ao Tenente da GNR Engenharia Silva, por facilitar as visitas às coberturas da GNR.

A todos os militares que nos auxiliaram no trabalho de campo demonstrando o espírito de camaradagem que os caracteriza.

Aos proprietários dos edifícios inspecionados, por permitirem as inspeções às coberturas e facultarem as informações necessárias.

Ao meu grande amigo João Branco, agradeço a ajuda que me concedeu, sempre que precisei.

Aos meus amigos e camaradas da Academia Militar, um agradecimento especial pelo apoio, incentivo e amizade que sempre demonstraram ao longo deste trabalho.

A todos os representantes das empresas contactadas, por facultarem todas as informações solicitadas.

Aos meus familiares a quem tudo devo.

Lista de acrónimos / siglas

| | |
|--------|-------------------------------------------------------------------|
| AEPIC | - Architecture and Engineering Performance Information Center |
| ASPE | - American Society of Plumbing Engineers |
| APICC | - Associação Portuguesa dos Industriais da Cerâmica de Construção |
| APP | - Atactic Polypropylene |
| ASTM | - American Society for Testing and Materials |
| CPE | - Corrugated Polyethylene |
| CSTC | - Centre Scientifique et Technique de la Construction |
| CSPE | - Chlorosulfonated Polyethylene |
| CRCA | - Canadian Roofing Contractors' Association |
| EFM | - Elementos fonte de manutenção |
| EPDM | - Ethylene-Propylene-Diene-Monomer |
| FEUP | - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto |
| IFD | - International Federation for the Roofing Trade |
| IPQ | - Instituto Português da qualidade |
| IST | - Instituto Superior Técnico |
| ITBTP | - Institut Technique du Bâtiment et des travaux Publics |
| ITC | - Infrared Training Centre |
| LNEC | - Laboratório Nacional de Engenharia Civil |
| MAD | - Módulo de Apoio à Decisão |
| MAI | - Módulo de Apoio à Inspeção |
| NASA | - National Aeronautics and Space Administration |
| NBA | - National Building Specification |
| NOAA's | - National Oceanic and Atmospheric Administration's |
| NRCA | - National Roofing Contractors Association |
| PIB | - PolyIsoButylene |
| PVC | - Policloreto de Vinilo |
| RIBA | - Royal Institute of British Architects |
| RGEU | - Regulamento Geral das Edificações Urbanas |
| SBS | - Styrene-Butadiene-Styrene |
| UEAtc | - Union Européenne pour l'Agrément Technique dans la Construction |
| WITA | - Waterproofing integrity test association |

Índice geral

| | | |
|----------|----------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1 | Introdução | 1-1 |
| 1.1 | Considerações iniciais | 1-1 |
| 1.2 | Justificação e objetivos da dissertação | 1-2 |
| 1.3 | Metodologia de investigação | 1-3 |
| 1.4 | Trabalhos realizados no âmbito da dissertação | 1-4 |
| 1.5 | Organização da dissertação | 1-6 |
| | | |
| 2 | Tecnologia das coberturas em terraço | 2-1 |
| 2.1 | Considerações iniciais | 2-1 |
| 2.2 | Exigências funcionais | 2-1 |
| 2.3 | Classificação das coberturas em terraço | 2-2 |
| 2.3.1 | Classificação quanto à acessibilidade | 2-2 |
| 2.3.2 | Classificação quanto à camada de proteção | 2-3 |
| 2.3.3 | Classificação quanto ao tipo de revestimento de impermeabilização | 2-4 |
| 2.3.4 | Classificação quanto à localização da camada de isolamento térmico | 2-4 |
| 2.3.5 | Classificação quanto à pendente | 2-5 |
| 2.3.6 | Classificação quanto à estrutura resistente | 2-5 |
| 2.4 | Materiais e sistemas de impermeabilização | 2-6 |
| 2.4.1 | Materiais e sistemas de impermeabilização tradicionais | 2-6 |
| 2.4.2 | Materiais e sistemas de impermeabilização não-tradicionais | 2-7 |
| 2.5 | Classificação de materiais e sistemas de impermeabilização | 2-10 |
| 2.5.1 | Classificação de materiais de impermeabilização | 2-10 |
| 2.5.2 | Classificação de sistemas de impermeabilização | 2-10 |
| 2.6 | Classificação dos materiais isolantes térmicos | 2-11 |
| 2.6.1 | Classificação segundo a natureza das matérias-primas | 2-11 |
| 2.6.2 | Classificação segundo o modo de produção ou execução | 2-11 |
| 2.7 | Principais funções das camadas constituintes da cobertura em terraço | 2-12 |
| 2.8 | Síntese | 2-16 |
| | | |
| 3 | Anomalias em coberturas em terraço | 3-1 |
| 3.1 | Considerações iniciais | 3-1 |
| 3.2 | Classificação das anomalias | 3-3 |

| | | |
|------------|---------------------------------------------------------------|-------------|
| 3.3 | Caracterização das anomalias | 3-4 |
| 3.3.1 | Desgaste superficial | 3-4 |
| 3.3.2 | Fratura / rotura | 3-6 |
| 3.3.3 | Descolamento / arrancamento..... | 3-8 |
| 3.3.4 | Formação de pregas / empolamento..... | 3-10 |
| 3.3.5 | Fissuração | 3-12 |
| 3.3.6 | Perfuração | 3-14 |
| 3.3.7 | Ausência / posicionamento inadequado de camada | 3-14 |
| 3.3.8 | Acumulação de detritos | 3-15 |
| 3.3.9 | Deficiências de inclinação / empoçamento | 3-16 |
| 3.3.10 | Colonização biológica..... | 3-17 |
| 3.3.11 | Corrosão | 3-17 |
| 3.3.12 | Manchas de humidade de condensação / infiltração | 3-18 |
| 3.3.13 | Conceção inadequada de juntas de dilatação..... | 3-20 |
| 3.3.14 | Conceção inadequada de tubos de queda | 3-21 |
| 3.3.15 | Conceção inadequada de tubos ladrão..... | 3-22 |
| 3.3.16 | Conceção inadequada de juntas de sobreposição | 3-23 |
| 3.3.17 | Conceção inadequada de caleiras | 3-24 |
| 3.3.18 | Fixações deficientes | 3-25 |
| 3.3.19 | Capeamento deficiente | 3-27 |
| 3.3.20 | Remates deficientes | 3-28 |
| 3.4 | Classificação das causas associadas às anomalias | 3-30 |
| 3.4.1 | Causas diretas | 3-32 |
| 3.4.2 | Causas indiretas | 3-35 |
| 3.5 | Matrizes de correlação | 3-45 |
| 3.5.1 | Considerações iniciais | 3-45 |
| 3.5.2 | Matriz correlação anomalias - causas | 3-45 |
| 3.5.3 | Matriz de correlação das anomalias entre si | 3-47 |
| 3.6 | Fichas de anomalias..... | 3-49 |
| 3.7 | Síntese | 3-50 |
| 4 | Técnicas de diagnóstico | 4-1 |
| 4.1 | Considerações iniciais..... | 4-1 |

| | | |
|------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------|
| 4.2 | Classificação das técnicas de diagnóstico..... | 4-2 |
| 4.2.1 | Inspeção visual | 4-3 |
| 4.2.2 | Medição da inclinação | 4-5 |
| 4.2.3 | Deteção elétrica de infiltração (ELD) | 4-5 |
| 4.2.3.1 | Método de baixa tensão | 4-5 |
| 4.2.3.2 | Método de alta tensão | 4-8 |
| 4.2.4 | Teste da capacidade elétrica ou capacitância..... | 4-9 |
| 4.2.5 | Termografia de infravermelhos..... | 4-11 |
| 4.2.6 | Método nuclear | 4-13 |
| 4.2.7 | Ensaio de estanqueidade | 4-13 |
| 4.3 | Matriz de correlação anomalias - técnicas de diagnóstico | 4-15 |
| 4.4 | Fichas das técnicas de diagnóstico | 4-17 |
| 4.5 | Síntese | 4-18 |
| | | |
| 5 | Validação do sistema e análise estatística | 5-1 |
| | | |
| 5.1 | Considerações iniciais..... | 5-1 |
| | | |
| 5.2 | Plano de inspeções | 5-1 |
| 5.2.1 | Mapeamento das anomalias..... | 5-2 |
| 5.2.2 | Fichas de inspeção | 5-2 |
| 5.2.3 | Fichas de validação | 5-3 |
| | | |
| 5.3 | Validação do sistema classificativo | 5-4 |
| 5.3.1 | Validação do sistema classificativo das anomalias | 5-4 |
| 5.3.2 | Validação do sistema classificativo das causas | 5-5 |
| 5.3.3 | Validação do sistema classificativo dos métodos de diagnóstico | 5-8 |
| 5.3.4 | Matriz de correlação anomalias - causas | 5-10 |
| 5.3.5 | Matriz de correlação anomalias entre si | 5-10 |
| 5.3.6 | Matriz de correlação anomalias - técnicas de diagnóstico | 5-12 |
| | | |
| 5.4 | Análise estatística | 5-15 |
| 5.4.1 | Frequência observada das anomalias..... | 5-15 |
| 5.4.2 | Frequência observada das causas..... | 5-20 |
| 5.4.3 | Frequência observada dos métodos de diagnóstico | 5-29 |
| | | |
| 5.5 | Síntese | 5-30 |

| | | |
|----------|-----------------------------------------------|------------|
| 6 | Conclusões..... | 6-1 |
| 6.1 | Considerações finais..... | 6-1 |
| 6.2 | Conclusões gerais..... | 6-1 |
| 6.3 | Perspetivas de desenvolvimentos futuros | 6-3 |
| | Referências bibliográficas | 7-1 |

Anexos

Anexo 3.I - Fichas de anomalias

Anexo 4.I - Fichas dos métodos de diagnóstico

Anexo 5.I - Ficha de inspeção

Anexo 5.II - Ficha de validação

Anexo 5.III - Ficha de inspeção - Ed. 71

Anexo 5.IV - Ficha de validação - Ed. 71

Anexo 5.V - Comparação entre as matrizes de correlação entre as anomalias e as causas prováveis (teórica e na amostra)

Índice de figuras

CAPÍTULO 1

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1.1 - Metodologia empregue na realização da dissertação | 1-4 |
| Figura 1.2 - Módulos do sistema de apoio à inspeção e diagnóstico | 1-4 |

CAPÍTULO 2

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 2.1 - Classificação das coberturas quanto ao tipo de revestimento de impermeabilização | 2-4 |
| Figura 2.2 - Comparação da temperatura no revestimento de impermeabilização entre a cobertura..... | 2-4 |
| Figura 2.3 - Classificação quanto à estrutura resistente | 2-6 |
| Figura 2.4 - Classificação de sistemas de impermeabilização de coberturas quanto à sua constituição ... | 2-11 |
| Figura 2.5 - Pormenor construtivo face a uma soleira | 2-16 |
| Figura 2.6 - Pormenores construtivos de capeamentos de platibandas | 2-16 |
| Figura 2.7 - Correta execução de capeamento | 2-16 |
| Figura 2.8 - Pormenor construtivo de uma claraboia | 2-17 |

CAPÍTULO 3

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 3.1 - Distribuição dos sinistros das anomalias nos elementos construtivos | 3-1 |
| Figura 3.2 - Principais anomalias | 3-2 |
| Figura 3.3 - Principais anomalias em Portugal..... | 3-2 |
| Figura 3.4 - Distribuição dos sinistros analisados e do custo dos trabalhos de reparação de danos ocorridos em coberturas em terraço..... | 3-2 |
| Figura 3.5 - Membrana líquida de impermeabilização envelhecida devido à radiação solar. | 3-6 |
| Figura 3.6 - Desgaste superficial da membrana de impermeabilização numa junta de sobreposição. | 3-6 |
| Figura 3.7- Deterioração de junta de dilatação devido à exposição solar | 3-6 |
| Figura 3.8 - Fratura / rotura da membrana de impermeabilização devido à ação da temperatura..... | 3-6 |
| Figura 3.9 - Fratura / rotura da membrana de impermeabilização devido à ação da temperatura..... | 3-6 |
| Figura 3.10 - Esmagamento e corte do remate da impermeabilização numa uma parede emergente da cobertura..... | 3-7 |
| Figura 3.11 - Fixação da membrana de impermeabilização submetida a uma tensão de corte | 3-7 |
| Figura 3.12 - Fratura na caleira | 3-8 |
| Figura 3.13 - Ação do vento | 3-8 |
| Figura 3.14 - Descolamento / arrancamento da camada de impermeabilização da cobertura plana..... | 3-8 |
| Figura 3.15 - Arrancamento do isolamento térmico num sistema de cobertura “invertida”. | 3-8 |
| Figura 3.16 - Pressão do vento exercida no edifício | 3-9 |
| Figura 3.17 - Descolamento / arrancamento da membrana na extremidade da cobertura. | 3-9 |
| Figura 3.18 - Exemplo da ocorrência de descolamento do sistema impermeabilizante..... | 3-9 |
| Figura 3.19 - Deslizamento dos remates devido à retração ou fluência. | 3-9 |
| Figura 3.20 - Descolamento / arrancamento das juntas de sobreposição. | 3-10 |
| Figura 3.21 - Descolamento da junta de sobreposição das membranas numa platibanda. | 3-10 |
| Figura 3.22 - Tipos de empolamentos..... | 3-11 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 3.23 - Empolamento na membrana de impermeabilização devido à presença de ar e humidade no seu interior. | 3-11 |
| Figura 3.24 - Empolamento da membrana de impermeabilização em zona corrente. | 3-11 |
| Figura 3.25 - Formação de prega em zona corrente. | 3-12 |
| Figura 3.26 - Formação de pregas na platibanda. | 3-12 |
| Figura 3.27 - Fissuração no paramento interior de balneários. | 3-12 |
| Figura 3.28 - Fissuração no paramento interior de edifício escolar. | 3-12 |
| Figura 3.29 - Fissuração da membrana de impermeabilização | 3-13 |
| Figura 3.30 - Fissura localizada da membrana de impermeabilização. | 3-13 |
| Figura 3.31 - Perfuração devida a ação permanente. | 3-14 |
| Figura 3.32 - Perfuração devido a ação dinâmica, na platibanda. | 3-14 |
| Figura 3.33 - Fissuras devido ao movimento da laje, sem isolamento | 3-15 |
| Figura 3.34 - Fissuração do murete devido ao movimento da laje (cobertura sem isolamento térmico). ... | 3-15 |
| Figura 3.35 - Acumulação de detritos junto a embocadura de tubo de queda. | 3-15 |
| Figura 3.36 - Acumulação de granulado de proteção. | 3-15 |
| Figura 3.37 - Acumulação de folhagem em caleira e consequente acumulação de água. | 3-15 |
| Figura 3.38 - Acumulação de detritos devido ao empoçamento | 3-16 |
| Figura 3.39 - Colapso da cobertura devido a carga excessiva provocada pela acumulação de água da chuva | 3-16 |
| Figura 3.40 - Empoçamento em cobertura “invertida” devido a inclinação insuficiente. | 3-16 |
| Figura 3.41 - Empoçamento devido a inclinação insuficiente. | 3-16 |
| Figura 3.42 - Ataque do isolamento térmico por ação da vegetação. | 3-17 |
| Figura 3.43 - Presença de musgos, por baixo da proteção pesada, numa cobertura em terraço. | 3-17 |
| Figura 3.44 - Corrosão em peça de fixação do rufo. | 3-17 |
| Figura 3.45 - Corrosão do rufo anexo à platibanda. | 3-17 |
| Figura 3.46 - Corrosão do ralo da embocadura. | 3-17 |
| Figura 3.47 - Transferência do fluxo do vapor de água | 3-18 |
| Figura 3.48 - Manchas de humidade na superfície da cobertura. | 3-19 |
| Figura 3.49 - Condensação no paramento interior do teto. | 3-19 |
| Figura 3.50 - Fenómeno de termoferece no paramento interior de um teto, sem isolamento térmico. | 3-19 |
| Figura 3.51 - Pormenorização da junta de dilatação numa cobertura não acessível | 3-20 |
| Figura 3.52 - Junta de dilatação, bem executada, com remate sobreelevado. | 3-20 |
| Figura 3.53 - Junta de dilatação executada sobre uma caleira. | 3-21 |
| Figura 3.54 - Pormenor de junta de dilatação | 3-21 |
| Figura 3.55 - Pormenorização da impermeabilização do tubo de queda (cobertura invertida) | 3-21 |
| Figura 3.56 - Tubo de queda bem executado, com ralo de pinha e rebaixamento da zona adjacente. | 3-21 |
| Figura 3.57 - Deficiente execução de um tubo de queda para escoamento de água pluviais. | 3-22 |
| Figura 3.58 - Inexistência de ralo de pinha | 3-22 |
| Figura 3.59 - Esquema de execução de tubo ladrão | 3-22 |
| Figura 3.60 - Conceção deficiente do tubo ladrão | 3-22 |
| Figura 3.61 - Esquema de execução de tubo ladrão. | 3-23 |
| Figura 3.62 - Ligação deficiente entre diferentes membranas de impermeabilização. | 3-23 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 3.63 - Conceção inadequada das juntas de sobreposição (largura insuficiente) | 3-24 |
| Figura 3.64 - Disposição correta dos elementos constituintes do sistema de drenagem | 3-25 |
| Figura 3.65 - Conceção inadequada de caleiras com insuficiente inclinação e secção de escoamento | 3-25 |
| Figura 3.66 - Conceção adequada de caleira | 3-25 |
| Figura 3.67 - Disposição da junta de sobreposição entre membranas em caleiras | 3-25 |
| Figura 3.68 - Fixação mecânica pontual na junta de sobreposição de um sistema de impermeabilização de camada única | 3-26 |
| Figura 3.69 - Fixação inadequada originou punçoamento do sistema de impermeabilização | 3-26 |
| Figura 3.70 - Fixação mecânica bem concecionada / executada | 3-26 |
| Figura 3.71 - Conceção / execução correta da fixação mecânica do rufo | 3-26 |
| Figura 3.72 - Exemplo de conceção / execução adequada da fixação mecânica do rufo | 3-26 |
| Figura 3.73 - Inexistência de capeamento nas platibandas | 3-27 |
| Figura 3.74 - Capeamento deficiente sobre o paramento horizontal de murete periférico | 3-27 |
| Figura 3.75 - Conceção / execução adequada de capeamento | 3-27 |
| Figura 3.76 - Pingadeira | 3-28 |
| Figura 3.77 - Inclinação do capeamento para o interior da cobertura | 3-28 |
| Figura 3.78 - Junta de dilatação no capeamento | 3-28 |
| Figura 3.79 - Remate protegido | 3-29 |
| Figura 3.80 - Remate não protegido | 3-29 |
| Figura 3.81 - Pormenorização de remate em platibanda | 3-29 |
| Figura 3.82 - Ausência de proteção adequada do bordo superior do remate | 3-30 |
| Figura 3.83 - Infiltrações em chaminés devido à ausência de remates. | 3-30 |
| Figura 3.84 - Remate bem executado na soleira de uma porta | 3-30 |
| Figura 3.85 - Pormenor construtivo de remate em tubagem emergente | 3-31 |
| Figura 3.86 - Distribuição das anomalias de acordo com a sua origem, em coberturas em terraço | 3-31 |
| Figura 3.87 - Ocorrência das causas das anomalias | 3-32 |
| Figura 3.88 - Instalação de aparelho após execução da cobertura. | 3-34 |
| Figura 3.89 - Instalação de equipamento após a execução da cobertura. | 3-34 |
| Figura 3.90 - Variação de temperatura em coberturas invertidas e tradicionais, em Portugal, ao longo do ano | 3-35 |
| Figura 3.91 - Distribuição dos sinistros em função das causas que lhe deram origem | 3-36 |
| Figura 3.92 - Percentagem de custos e causas de sinistros associados ao projeto | 3-36 |
| Figura 3.93 - Infiltração de água em zonas contíguas à soleira da porta | 3-39 |
| Figura 3.94 - Remate inadequada na soleira da porta | 3-39 |
| Figura 3.95 - Principais causas das anomalias segundo o <i>Sycodés</i> | 3-40 |
| Figura 3.96 - Repartição das anomalias na construção por causa de origem | 3-40 |
| Figura 3.97 - Rolos achatados devido ao seu armazenamento incorreto | 3-41 |
| Figura 3.98 - Limpeza insatisfatória do suporte | 3-41 |
| Figura 3.99 - Soldadura por meio de chama de um sistema de camda dupla fixado mecanicamente | 3-41 |
| Figura 3.100 - Rebaixamento da camada de forma na zona de embocaduras de tubos de queda | 3-42 |
| Figura 3.101 - Ausência do rebaixamento da camada de forma e de ralo na embocadura. | 3-42 |
| Figura 3.102 - Pormenorização de um tubo de queda | 3-42 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 3.103 - Exemplo de erro de projeto - altura insuficiente para a execução do correto remate da soleira | 3-43 |
| Figura 3.104 - Exemplo da correta aplicação da soleira sobre o novo sistema..... | 3-43 |
| Figura 3.105 - Exemplo de descolamento do sistema impermeabilizante num paramento. | 3-43 |
| Figura 3.106 - Ciclo de manutenção de uma cobertura | 3-45 |

CAPÍTULO 4

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 4.1 - Fotografia aérea..... | 4-4 |
| Figura 4.2 - Medição da inclinação recorrendo à régua de nível | 4-5 |
| Figura 4.3 - Inclínómetro..... | 4-5 |
| Figura 4.4 - Medidor de inclinações digital | 4-5 |
| Figura 4.5 - Operador utilizando sondas. | 4-6 |
| Figura 4.6 - Gerador com ligação simultânea a elemento da cobertura e circuito de fios condutores | 4-6 |
| Figura 4.7 - Esquema de funcionamento do método de baixa tensão..... | 4-6 |
| Figura 4.8 - Detecção eletrónica de infiltração..... | 4-6 |
| Figura 4.9 - Isolamento de uma infiltração através de um fio condutor | 4-7 |
| Figura 4.10 - Plataforma de inspeção | 4-7 |
| Figura 4.11 - Método "seco" testando um remate com recurso a uma escova "elétrica" | 4-9 |
| Figura 4.12 - Método "seco" com o circuito membrana-suporte fechado | 4-9 |
| Figura 4.13 - Esquema de funcionamento do método "seco" | 4-9 |
| Figura 4.14 - Equipamento utilizado no teste de medição de capacitância, "Leek Seaker" | 4-10 |
| Figura 4.15 - "Dec Scanner" | 4-10 |
| Figura 4.16 - Exemplo de uma câmara de termografia actualmente comercializada | 4-11 |
| Figura 4.17 - Resultado de um teste de termografia de infravermelhos | 4-11 |
| Figura 4.18 - Detecção de uma infiltração não visível | 4-12 |
| Figura 4.19 - Recurso a radar numa zona identificada pela termografia de infravermelhos | 4-12 |
| Figura 4.20 - Área molhada delimitada | 4-13 |
| Figura 4.21 - Resultado do teste "Nuclear moisture testing" | 4-13 |
| Figura 4.22 - Ensaio de estanqueidade em cobertura | 4-14 |
| Figura 4.23 - Ensaio de estanqueidade em edifício | 4-14 |
| Figura 4.24 - Humidade alojada entre a membrana de impermeabilização e o seu suporte | 4-15 |

CAPÍTULO 5

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 5.1 - Frequência absoluta e relativa das anomalias identificadas nas 105 inspeções realizadas | 5-6 |
| Figura 5.2 - Distribuição das causas prováveis observadas nas inspeções realizadas | 5-7 |
| Figura 5.3 - Frequência absoluta das causas do grupo C-E identificadas nas 608 anomalias em coberturas planas..... | 5-8 |
| Figura 5.4 - Frequência relativa das causas do grupo C-E identificadas nas 608 anomalias em coberturas planas | 5-8 |
| Figura 5.5 - Frequência absoluta das causas do grupo C-A identificadas nas 608 anomalias em coberturas planas | 5-9 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 5.6 - Frequência relativa das causas do grupo C-A identificadas nas 608 anomalias em coberturas planas | 5-9 |
| Figura 5.7 - Frequência absoluta das causas do grupo C-U identificadas nas 608 anomalias em coberturas planas | 5-9 |
| Figura 5.8 - Frequência relativa das causas do grupo C-U identificadas nas 608 anomalias em coberturas planas | 5-9 |
| Figura 5.9 - Frequência absoluta das causas do grupo C-P identificadas nas 608 anomalias em coberturas planas | 5-10 |
| Figura 5.10 - Frequência relativa das causas do grupo C-P identificadas nas 608 anomalias em coberturas planas | 5-10 |
| Figura 5.11 - Frequência absoluta das causas do grupo C-M identificadas nas 608 anomalias em coberturas planas | 5-10 |
| Figura 5.12 - Frequência absoluta das causas do grupo C-M identificadas nas 608 anomalias em coberturas planas | 5-10 |
| Figura 5.13 - Frequência relativa dos métodos de diagnóstico registados | 5-11 |
| Figura 5.14 - Contribuição relativa de cada anomalia na amostra total | 5-19 |
| Figura 5.15 - Média de anomalias registadas nos diferentes revestimentos de impermeabilização inspecionados | 5-19 |
| Figura 5.16 - Frequência de ocorrência das anomalias registadas em coberturas com PVC | 5-20 |
| Figura 5.17 - Frequência de ocorrência das anomalias registadas em coberturas com membrana líquida | 5-21 |
| Figura 5.18 - Frequência de ocorrência das anomalias registadas em coberturas com membrana betuminosa | 5-22 |
| Figura 5.19 - Nível de gravidade / urgência de reparação das anomalias na amostra | 5-23 |
| Figura 5.20 - Urgência de reparação estimada para cada anomalia identificada na amostra | 5-24 |
| Figura 5.21 - Contribuição relativa de cada grupo de causas para a ocorrência de anomalias | 5-26 |
| Figura 5.22 - Frequência relativa das causas observadas durante as inspeções (grupo C-P e C-E) | 5-27 |
| Figura 5.23 - Frequência relativa das causas observadas durante as inspeções (grupo C-A, C-U e C-M) | 5-27 |
| Figura 5.24 - Contribuição relativa dos grupos de causas para a primeira metade do grupo de anomalias de carácter geral | 5-28 |
| Figura 5.25 - Contribuição relativa dos grupos de causas para a segunda metade do grupo de anomalias de carácter geral | 5-30 |
| Figura 5.26 - Contribuição relativa dos grupos de causas para a ocorrência das anomalias da primeira parte do grupo de anomalias em pontos singulares | 5-32 |
| Figura 5.27 - Contribuição relativa dos grupos de causas para a ocorrência das anomalias da segunda parte do grupo de anomalias em pontos singulares | 5-34 |
| Figura 5.28 - Média de causas registadas nos diferentes revestimentos de impermeabilização inspecionados | 5-35 |
| Figura 5.29 - Frequência relativa das causas detetadas nos diferentes revestimentos de impermeabilização inspecionados | 5-36 |
| Figura 5.30 - Frequência absoluta e relativa de escolha de cada método de diagnóstico nas inspeções efetuadas | 5-37 |

Índice de quadros

CAPÍTULO 2

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Quadro 2.1 - Requisitos básicos e constituintes do sistema de coberturas planas | 2-1 |
| Quadro 2.2 - Exigências funcionais e de economia de coberturas em terraço..... | 2-2 |
| Quadro 2.3 - Sistema classificativo para as coberturas em terraço..... | 2-2 |
| Quadro 2.4 Classificação das coberturas quanto à acessibilidade..... | 2-3 |
| Quadro 2.5 - Classificação das coberturas quanto ao tipo de proteção e dos materiais que a constituem .. | 2-3 |
| Quadro 2.6 - Inclinações máximas e mínimas nos vários países | 2-5 |
| Quadro 2.7 - Características e condições de aplicação de estruturas resistentes em betão para coberturas em terraço | 2-6 |
| Quadro 2.8 - Materiais e sistemas de impermeabilização tradicionais aplicados <i>in situ</i> | 2-7 |
| Quadro 2.9 - Materiais prefabricados e sistemas de impermeabilização tradicionais com base nesses produtos | 2-7 |
| Quadro 2.10 - Materiais e sistemas de impermeabilização não-tradicionais aplicados <i>in situ</i> | 2-8 |
| Quadro 2.11 - Materiais prefabricados e respetivos sistemas de impermeabilização não-tradicionais | 2-8 |
| Quadro 2.12 - Materiais prefabricados e respetivos sistemas de impermeabilização não-tradicionais (continuação) | 2-9 |
| Quadro 2.13 - Tipo de processo de aderência do sistema de impermeabilização | 2-9 |
| Quadro 2.14 - Vantagens e desvantagens do sistema de impermeabilização | 2-9 |
| Quadro 2.15 - Classificação de materiais de impermeabilização de coberturas | 2-10 |
| Quadro 2.16 - Classificação dos sistemas de impermeabilização quanto ao modo de ligação ao suporte.... | 2-11 |
| Quadro 2.17 - Classificação de materiais isolantes quanto à natureza das matérias-primas | 2-11 |
| Quadro 2.18 - Classificação de materiais isolantes quanto ao modo de produção ou execução | 2-12 |
| Quadro 2.19 - Principais funções das camadas constituintes da cobertura em terraço | 2-13 |

CAPÍTULO 3

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|------|
| Quadro 3.1 - Classificação de anomalias em coberturas em terraço proposta | 3-4 |
| Quadro 3.2 - Relação entre as anomalias e os locais onde podem ocorrer | 3-5 |
| Quadro 3.3 - Método de “fatorização” da radiação ultra violeta | 3-5 |
| Quadro 3.4 - Sistema de classificação de possíveis causas proposto | 3-33 |
| Quadro 3.5 - Principais causas de anomalias em diversos países europeus..... | 3-36 |
| Quadro 3.6 - Matriz de correlação anomalias - causas prováveis | 3-46 |
| Quadro 3.7 - Matriz de correlação das anomalias entre si..... | 3-48 |
| Quadro 3.8 - Matriz de correlação percentual das anomalias entre si..... | 3-49 |
| Quadro 3.9 - Ficha de anomalia | 3-50 |

CAPÍTULO 4

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Quadro 4.1 - Técnicas de diagnóstico propostas <i>in situ</i> | 4-2 |
| Quadro 4.2 - Inspeção visual: situações a ter em atenção e problemas associados em coberturas | 4-3 |
| Quadro 4.3 - Matriz de correlação anomalias - técnicas de diagnóstico | 4-16 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Quadro 4.4 - Correlação entre os ensaios <i>in situ</i> e a anomalia A-G9 - Deficiências de inclinação / empoçamento | 4-17 |
| Quadro 4.5 - Ficha de ensaio D-E1 - Ensaio de estanqueidade..... | 4-18 |

CAPÍTULO 5

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Quadro 5.1 - Valores máximos e mínimos das vidas úteis dos diversos elementos do sistema de cobertura..... | 5-2 |
| Quadro 5.2 - Quadro resumo da análise dos casos discrepantes entre a matriz de correlação anomalias / causas prováveis teórica e a matriz correlação anomalias / causas prováveis obtida no trabalho de campo (grau de correlação teórico - Ct; grau de correlação prático)..... | 5-12 |
| Quadro 5.3 - Comparação entre as matrizes de correlação inter-anomalias (teórica e com base na amostra) | 5-14 |
| Quadro 5.4 - Comparação entre as matrizes de correlação, teórica e com base na amostra, entre anomalias e métodos de diagnóstico..... | 5-15 |

[Deixado intencionalmente em branco]

1 Introdução

1.1 Considerações iniciais

O primeiro caso documentado de uma inspeção estrutural com vista ao reforço de um edifício a preservar foi o da cúpula de S. Pedro, em Roma, decorria o ano de 1742. Outro exemplo de inspeção, e posterior diagnóstico, foi levado a cabo no Panteão de Paris e permitiu concluir que a execução dos pilares foi incorreta. Os consultores chamados seguiram então uma metodologia de diagnóstico. Em Portugal, é referida a viagem para inspeção às fortalezas situadas na zona fronteiriça, desde Castro Marim a Caminha, realizada por Duarte de Armas. Existem ainda referências a inspeções realizadas aos castelos de Almeida e às portas e muralhas de Lisboa em 1650, levadas a cabo por Mateus do Couto (Cóias, 2006).

No caso das coberturas em terraço, a sua utilização data das civilizações egípcias que construíam salões recorrendo a este tipo de solução construtiva. A sua evolução dependeu, predominantemente, dos locais onde eram construídas (zona climática), mas também dos materiais e tecnologia empregues. Este tipo de cobertura é amplamente utilizado nos dias de hoje, existindo por todo o mundo, sendo que cada região tem a sua própria tradição ou preferência em termos dos materiais utilizados. As coberturas planas em climas quentes, onde as chuvas são menos frequentes e o congelamento é improvável, são simplesmente construídas em alvenaria ou betão. Isto tem como vantagem a facilidade de manutenção de uma temperatura confortável para os habitantes e ser mais barato e fácil de construir onde a madeira não está disponível.

Em Portugal, as províncias do Sul são um exemplo típico de onde se pode observar maior quantidade de coberturas planas, devido essencialmente ao clima mais quente. Em áreas onde a cobertura poderia ficar saturada pela água da chuva, estas coberturas não são tão utilizadas devido essencialmente a esse problema.

Genericamente, a cobertura tem uma função complexa e importante relativamente à dos restantes elementos da envolvente, pois os agentes atmosféricos atuam nela mais direta e intensamente. A principal função de uma cobertura é fechar o edifício de forma a criar um ambiente interior isolado e protegido do ambiente exterior, criando uma barreira aos agentes agressores exteriores, como as variações de temperatura, humidade, chuva, vento e ruído. Existem ainda ações indiretas, como o caso da deficiente conceção em projeto ou pouca experiência na sua execução, que são provavelmente as maiores ameaças ao desempenho da função da cobertura nos dias de hoje. Relativamente a estas causas indiretas, e apesar do aparecimento e desempenho de novos materiais de impermeabilização, a falta de formação dos executantes das camadas de impermeabilização é uma origem frequente de problemas. Destas deficiências resultam quase sempre infiltrações de água para as camadas subjacentes, ou ainda para os espaços do último piso, provocando prejuízos, que se traduzem em custos, não só devidos aos trabalhos de reparação das zonas afetadas, mas também, eventualmente, à impossibilidade de utilização dos espaços referidos (Lopes, 2010). É de salientar que, em Portugal, muitas vezes se recorre ao processo de execução tanto como ao material menos oneroso o que, conjugado com uma incorreta aplicação, pode resultar em maior despesa a longo prazo. Outra origem de problemas em Portugal é a ausência do projeto e desenhos detalhados das camadas da cobertura o que contribui, indiretamente, para deficientes pormenores construtivos que podem conduzir a uma maior propensão para a ocorrência de infiltrações; tal como a ausência de manutenção das coberturas. Pode-se ainda apresentar uma perspetiva britânica que enuncia alguns condicionantes à seleção das soluções construtivas e que por isso conduz, muitas das vezes, ao deficiente comportamento em serviço das coberturas em terraço. Algumas destas condicionantes são o preço das soluções, a falta de conhecimento sobre novos materiais e a deficiente execução técnica, a falta de pormenorizações construtivas e pessoal qualificado para o fazer e o elevado custo de reparação em edifícios novos (Addleson, 1992).

1.2 Justificação e objetivos da dissertação

A atividade da construção movimenta vários sectores a montante e a jusante da sua cadeia de produção. Daí que seja considerado um dos sectores impulsionadores da economia nacional, não só pelo seu peso específico na criação de riqueza como também de emprego e obviamente com o seu efeito multiplicador, sendo uma atividade fundamental para o crescimento da economia.

Nas últimas décadas, nomeadamente antes da crise de 2008, observou-se em Portugal um elevado crescimento de construção nova. Após 2008, o setor da construção acompanhou a queda da economia fundamentalmente devido a razões como a dificuldade no acesso ao crédito, à qual se juntam problemas específicos do setor. Segundo o relatório INCI (2013), o setor da construção apresenta variações, que embora negativas, denotam um certo abrandamento na tendência de queda dos últimos anos. Face à ausência de poderio económico para investimento neste setor, é fundamental a aposta na manutenção e reabilitação do edificado português. Alguns autores defendem que não está enraizado na cultura portuguesa o espírito da manutenção e prevenção de anomalias no edificado (Flores-Colen e Brito, 2001). A falta de investimento que se tem verificado em Portugal em trabalhos de reparação e manutenção do edificado tem-se revelado muito penalizadora para o desempenho económico do país (no período 1985 / 2009, apenas 20% do número de licenças emitidas para edifícios de habitação se referiam a trabalhos de manutenção e reparação, face a 80% relativos a construção nova) (AECOPS, 2009).

No presente, o sector da construção, por funcionar como barómetro da economia nacional, sentiu fortemente os efeitos da recessão e tem visto a sua situação degradar-se, nomeadamente ao nível do volume de negócios e, conseqüentemente, do seu contributo para o investimento nacional (INCI, 2012). Uma resposta à atual crise que o sector da construção atravessa passará pelo aumento da atividade de reabilitação de edifícios, que desempenhará, também, um papel importante na revitalização das cidades. Por esta razão, nos dias de hoje e num futuro próximo, é possível prever uma mudança de paradigma orientada para os trabalhos de reabilitação e manutenção do edificado em geral, incluindo necessariamente as coberturas. Se forem criadas as condições para a sua satisfação, os trabalhos de reabilitação deverão representar cerca de 45% do valor global da produção da construção em Portugal, situação essa que nos colocará nos padrões dos nossos congéneres europeus (AECOPS, 2009).

No âmbito das políticas de reabilitação e manutenção, destacam-se países como o Brasil, o Canadá, Espanha, os Estados Unidos, a França, a Itália, Japão e o Reino Unido, os quais apresentam: bases de dados com os defeitos mais correntes; prática de inspeções nacionais para avaliação do estado de conservação dos edifícios e sua monitorização; planos a longo prazo das operações de manutenção; existência de registos de todas as intervenções e de bases de dados com custos de manutenção (adaptado de Flores-Colen, 2008).

No que se refere à temática das coberturas em terraço, é fundamental ter um bom conhecimento da tecnologia existente, da técnica de execução, da boa conceção e das técnicas de diagnóstico e de reparação apropriadas, tendo em vista uma maior durabilidade e vida útil e o aparecimento tardio de sinais de degradação, reduzindo assim os custos associados à fase de utilização. Por sua vez, a existência de ferramentas que permitam normalizar as ações de manutenção contribui para a diminuição dos custos, na medida em que se conseguem intervenções mais eficientes e eficazes.

Com a realização deste trabalho de investigação, pretende-se não só a normalização do conhecimento das anomalias que ocorrem em coberturas em terraço, como também a sistematização do conhecimento de novos

materiais e regras de boa execução. Desta forma, a presente dissertação tem como objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à inspeção e diagnóstico de anomalias em coberturas em terraço, através de um sistema classificativo de anomalias e causas prováveis associadas, registadas durante as inspeções e materializadas em fichas de anomalias. Além disto, são identificadas e propostas as técnicas de diagnóstico mais adequadas a cada anomalia detetada, sendo que as correspondentes técnicas de reparação são desenvolvidas na dissertação que complementa este trabalho e que se designa “Tecnologia e reabilitação de coberturas em terraço” (Poça, 2015).

A presente dissertação pretende ainda a concretização de dois pontos importantes para aprofundar o conhecimento sobre a mesma: correlacionar, através de matrizes, os diversos dados obtidos (anomalias - causas, anomalias entre si e anomalias - técnicas de diagnóstico); elaboração de uma análise estatística das frequências observadas das anomalias, causas e técnicas de diagnóstico em coberturas planas. Para validação do sistema de inspeção e diagnóstico proposto, recorre-se a dados recolhidos nas várias inspeções realizadas ao longo do desenvolvimento desta dissertação. Relativamente ao trabalho realizado por Walter (2002), a presente dissertação alargar o estudo a todos os constituintes do sistema de cobertura, tal como procura a criação de fichas mais simples, de forma a facilitar a inspeção.

1.3 Metodologia de investigação

A metodologia que esta dissertação apresenta é composta por duas fases principais, das quais a primeira inclui:

- ✓ (1) Recolha bibliográfica;
- ✓ (2) Descrição da tecnologia;
- ✓ (3) Descrição da patologia;
- ✓ (4) Descrição das técnicas de diagnóstico

Esta primeira fase é fundamentalmente teórica. Efetuou-se a recolha bibliográfica tendo em conta documentos já produzidos no âmbito da investigação (teses, livros, atas de congressos, revistas internacionais) para procurar descrever os restantes pontos: criação das fichas de anomalias e de diagnóstico; elaboração do sistema teórico de apoio à inspeção e diagnóstico de anomalias em coberturas em terraço.

Por sua vez, a segunda fase é constituída por:

- ✓ (5) Trabalho de campo;
- ✓ (6) Conclusões.

Nesta fase, procedeu-se a uma série de inspeções de coberturas do edificado do Exército e não só, com o objetivo de recolha de dados para tratamento estatístico. Foi efetuada uma comparação entre a componente teórica e o registado no trabalho de campo, ocorrendo posteriormente a validação do sistema de inspeção e diagnóstico.

As campanhas de inspeções foram intercaladas na pesquisa bibliográfica e ao longo do desenvolvimento do modelo teórico, com o objetivo de adiantar a sua execução, dado que se revelou um processo trabalhoso e muito moroso. A Figura 1.1 resume todo este processo.

Para que um sistema deste tipo seja posto em prática, é necessário constituir uma ferramenta informática que tenha como base os vários componentes de uma cobertura em terraço (Figura 1.2).

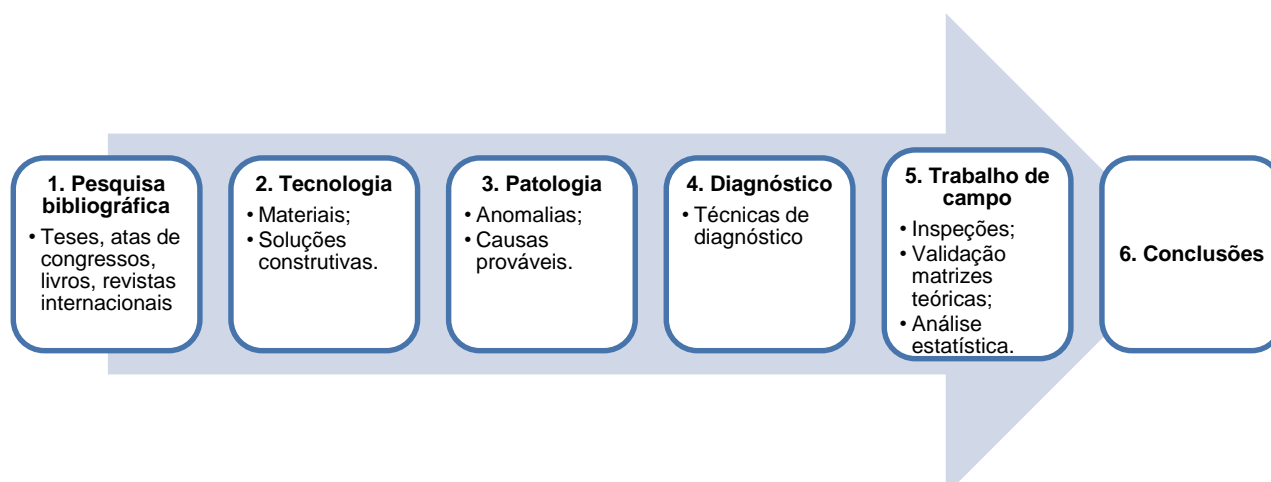


Figura 1.1 - Metodologia empregue na realização da dissertação

Esta ferramenta deverá incluir os seguintes grupos (adaptado de Brito, 1992):

- ✓ uma base de dados informatizada que permita armazenar a informação relevante sobre as possíveis soluções num sistema de cobertura plana, os elementos que o constituem e os restantes dados de apoio à inspeção e diagnóstico dos mesmos;
- ✓ um sistema que permita a normalização das atividades de inspeção e dos relatórios resultantes, ou seja, um módulo de apoio à inspeção (MAI);
- ✓ um sistema de decisão sobre a ação a realizar após a inspeção e o diagnóstico de anomalias eventualmente existentes, constituindo assim um módulo de apoio à decisão (MAD).



Figura 1.2 - Módulos do sistema de apoio à inspeção e diagnóstico (adaptado de Brito, 1992)

O sistema descrito não deverá ser completamente automatizado, dado que a decisão final deverá ter sempre em conta a palavra final do responsável técnico, do proprietário do edifício ou do condomínio, de modo a usufruir do bom senso e experiência dos mesmos (Silvestre, 2005).

1.4 Trabalhos realizados no âmbito da dissertação

Em Portugal, a temática da criação de sistemas de inspeção e diagnóstico de soluções construtivas tem sido alvo de diversos trabalhos de investigação nos últimos anos. Durante a pesquisa bibliográfica efetuada, foram encontrados diversos trabalhos que focam esta temática. São apresentadas em seguida as referências bibliográficas de alguns desses trabalhos:

- BRITO, J. de - "Desenvolvimento de um sistema de gestão de obras de arte em betão". Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Outubro de 1992;

- SILVESTRE, J. - “Sistema de apoio à inspecção e diagnóstico de anomalias em revestimentos cerâmicos aderentes”. Dissertação de Mestrado em Construção. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Setembro de 2005;
 - GARCIA, J. - “Sistema de inspecção e diagnóstico de revestimentos epóxicos em pisos industriais”. Dissertação de Mestrado em Construção. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Janeiro de 2006;
 - GONÇALVES, A. - “Reabilitação de paredes de alvenaria”. Dissertação de Mestrado em Construção. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Outubro de 2007;
 - WALTER, A. - “Sistema de classificação para a inspecção de impermeabilizações de coberturas em terraço”. Dissertação de Mestrado em Construção pela Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Dezembro de 2002;
 - GARCEZ, N. - “Sistema de inspecção e diagnóstico de revestimentos exteriores de coberturas inclinadas”. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Aeródromos, Lisboa, Instituto Superior Técnico, 2009;
 - PEREIRA, A. - “Sistema de inspecção e diagnóstico de estuques correntes em paramentos interiores”. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Lisboa, Instituto Superior Técnico, 2008;
 - SÁ, J. - “Sistema de inspecção e diagnóstico de rebocos em paredes”. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Lisboa, Instituto Superior Técnico, 2011;
 - AMARO, B. - “Sistemas de inspecção e diagnóstico de ETICS em paredes”. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011;
 - AMARAL, S. - “Inspeção e diagnóstico de edifícios recentes. Estudo de um caso real”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Lisboa, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2013;
 - SANTOS, A. - “Sistemas de inspecção e diagnóstico de caixilharias”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Militar, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012;
 - MORGADO, J. - “Plano de inspecção e manutenção de coberturas de edifícios corrente”. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012;
 - NATÁLIA, N. - “Sistema de apoio à inspecção e diagnóstico de anomalias em revestimentos em pedra natural”. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Lisboa, Instituto Superior Técnico, 2008;
 - GAIÃO, C. - “Sistema de apoio à inspecção e diagnóstico de anomalias em paredes de placas de gesso laminado”. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Lisboa, Instituto Superior Técnico, 2008.
- No âmbito das coberturas em terraço, em Portugal, pode-se referir alguns trabalhos de investigação já efetuados ou em desenvolvimento:
- WALTER, A. - “Sistema de classificação para a inspecção de impermeabilizações de coberturas em terraço”. Dissertação de Mestrado em Construção pela Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Dezembro de 2002;
 - ROCHA, P. - “Anomalias em coberturas de terraço e inclinadas”. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Aeródromos, Lisboa, Instituto Superior Técnico, 2008;
 - ALVES, J. - “Impermeabilização e isolamento térmico de coberturas em terraço, sistemas construtivos e patologias”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Lisboa, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2013;
 - FIGUEIREDO, J. - “Levantamento de anomalias nos sistemas impermeabilizantes de coberturas planas”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Lisboa, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2012;
 - BATISTA, S. - “Impermeabilização de coberturas em terraço: directrizes para o projecto”. Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2004;
 - GINGA, D. - “Sistemas de impermeabilização de coberturas em terraço com base em produtos líquidos ou pastosos”. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Aeródromos, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007;

- ANTÓNIO, D. - “Reabilitação de revestimentos de impermeabilização de coberturas em terraço. Estudo experimental da ligação entre membranas novas e envelhecidas”. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011;
- POÇA, B. - “Recuperação do edificado afeto ao exército. Tecnologia e reabilitação de coberturas em terraço”. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Militar, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2015.

1.5 Organização da dissertação

No capítulo 1, apresenta-se uma introdução da dissertação tendo início com considerações iniciais no âmbito do tema da dissertação, nas quais se menciona, brevemente, a evolução dos sistemas de cobertura e âmbito da suas aplicações no passado e na atualidade. Neste capítulo, são ainda apresentados os objetivos da dissertação, a sua metodologia e organização e a importância de criar uma ferramenta de apoio à inspeção e diagnóstico de anomalias em coberturas em terraço.

O capítulo 2 aborda as exigências funcionais das coberturas, as respetivas classificações possíveis, as principais funções de cada camada e os materiais utilizados.

No capítulo 3, com base na pesquisa bibliográfica, é proposto o sistema classificativo de anomalias em coberturas em terraço, com o objetivo de obter uma normalização da designação e descrição das anomalias neste tipo de coberturas. É igualmente apresentado um sistema classificativo das causas prováveis, diretas e indiretas, que estão na origem da ocorrência de anomalias. Entre os sistemas classificativos existem índices de correlação, que permitem a construção de uma matriz de correlação entre as anomalias e as respetivas causas associadas. Com base nesta matriz, são definidas relações de simultaneidade entre anomalias, das quais resulta a construção de outra matriz denominada de matriz de correlação das anomalias entre si. As informações relativas a cada anomalia são resumidas em fichas de anomalias individuais, apresentadas no anexo 3.I.

O capítulo 4 retrata as técnicas mais adequadas ao diagnóstico de anomalias em coberturas em terraço e, seguidamente, é proposto um sistema classificativo de ensaios de realização *in situ* não-destrutivos, que deverão fazer parte das ações de inspeção. Por fim, através de uma matriz, são ainda correlacionadas as anomalias com as técnicas de diagnóstico.

O capítulo 5 surge como resultado das inspeções efetuadas, tendo como principal objetivo a validação e calibração do sistema classificativo de anomalias. Numa segunda fase, e como complemento, é elaborado um tratamento estatístico dos dados recolhidos nas inspeções, com o qual foi possível retirar conclusões relevantes no âmbito do tema da dissertação.

No capítulo 6, são apresentadas as conclusões gerais resultantes da dissertação, resumindo-se as características principais do trabalho realizado e propondo-se novos domínios de investigação passíveis de virem a ser desenvolvidos no futuro.

Relativamente aos anexos, o anexo 3.I apresenta as fichas de anomalias, o anexo 4.I as fichas dos métodos de diagnóstico, o anexo 5.I a ficha de inspeção, o anexo 5.II a ficha de validação, o anexo 5.III um exemplo, preenchido, de uma ficha de inspeção, o anexo 5.IV um exemplo, preenchido, de uma ficha de validação e o anexo 5.V apresenta um quadro onde se expõe a comparação entre as matrizes de correlação entre as anomalias e as causas prováveis.

2 Tecnologia das coberturas em terraço

2.1 Considerações iniciais

O presente capítulo tem como objetivo apresentar, de forma breve, as principais tecnologias disponíveis para a execução de coberturas. Neste capítulo, são abordadas as exigências funcionais das coberturas, as respectivas classificações possíveis, as principais funções de cada camada e os materiais utilizados.

Não se pretende uma descrição exaustiva de todas as soluções visto esse não ser o desígnio da dissertação. De realçar o trabalho realizado por Poça (2015), que aprofunda esta temática.

Na constituição do sistema de coberturas, as suas camadas são as responsáveis por satisfazer as exigências funcionais; essas camadas podem ser as seguintes: estrutura resistente, suporte de impermeabilização, revestimento da impermeabilização e proteção desse revestimento.

Além destas, podem ainda constituir a cobertura em terraço, as seguintes camadas¹: camada de regularização, camada de forma, barreira ao vapor, camada de isolamento térmico, camada de difusão de vapor de água, camada de dessolidarização.

Estes constituintes do sistema de cobertura devem cumprir requisitos básicos, ilustrados no Quadro 2.1 segundo o Anexo I do Regulamento n.º 305/2011 da União Europeia. Relativamente ao Quadro 2.1, a coluna da esquerda apresenta os requisitos básicos, enquanto a coluna da direita apresenta os elementos responsáveis por tais requisitos.

Quadro 2.1 - Requisitos básicos e constituintes do sistema de coberturas planas (Regulamento n.º 305/2011 da União Europeia)

| | |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Resistência mecânica e estabilidade | <ul style="list-style-type: none"> • Estrutura resistente |
| Segurança contra incêndio | <ul style="list-style-type: none"> • Estrutura resistente • Isolamento térmico |
| Higiene, saúde e ambiente | <ul style="list-style-type: none"> • Revestimento de impermeabilização • Isolamento térmico |
| Segurança e acessibilidade na utilização | <ul style="list-style-type: none"> • Proteção do revestimento de impermeabilização |
| Proteção contra o ruído | <ul style="list-style-type: none"> • Estrutura resistente |
| Economia de energia e isolamento térmico | <ul style="list-style-type: none"> • Isolamento térmico • Camada de forma* |
| Utilização sustentável dos recursos naturais | <ul style="list-style-type: none"> • Todos os constituintes |

* Caso a camada de forma seja constituída por betão de agregados leve, esta terá uma ação complementar à camada de isolamento térmico (Gomes et al., 1968).

2.2 Exigências funcionais

Como refere Gomes (1986), a posição, aproximadamente horizontal, da cobertura e o seu grau de exposição, tornam-na mais suscetível à ação dos agentes atmosféricos. Como tal, a manutenção de níveis adequados de desempenho é concretizada à custa da satisfação das exigências funcionais. Tipicamente, agrupam-se em três classes fundamentais: exigências de segurança, exigências de habitabilidade e de durabilidade. É vulgar associar as exigências de economia. Quadro 2.2 apresenta as exigências funcionais que uma cobertura deve cumprir e uma breve descrição das mesmas.

¹ Nas coberturas ajardinadas, torna-se necessário a aplicação de camadas adicionais, enunciadas posteriormente.

Quadro 2.2 - Exigências funcionais e de economia de coberturas em terraço (Lopes, 2010)

| Exigências de segurança | Exigências de habitabilidade | Exigências de durabilidade | Exigências de economia |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Segurança estrutural: dimensionamento para combinações de ações • Segurança contra os riscos de incêndio • Segurança contra riscos inerentes ao uso normal: ações de punção; ações de choques acidentais • Resistência das camadas não estruturais da cobertura a outras ações: ações dos agentes atmosféricos; variações das condições ambientes interiores | <ul style="list-style-type: none"> • Estanqueidade: à água, neve, poeiras e ar • Conforto térmico: conforto de inverno (isolamento térmico, risco de condensações); conforto de verão (isolamento térmico, proteção solar) • Conforto acústico: sons aéreos e de percussão • Conforto visual: iluminação natural; refletividade da camada de proteção • Disposição de acessórios e equipamento • Aspeto: exterior e interior | <ul style="list-style-type: none"> • Conservação das qualidades: conservação das resistências mecânicas; conservação dos materiais; resistência a ações decorrentes do uso normal • Limpeza, manutenção e reparação: limpeza; manutenção e reparação | <ul style="list-style-type: none"> • Limitação do custo global • Economia de energia |

2.3 Classificação das coberturas em terraço

As coberturas em terraço podem classificar-se segundo várias óticas: quanto à acessibilidade; quanto à camada de proteção; segundo o tipo de revestimentos de impermeabilização; quanto à localização da camada de isolamento térmico; quanto à pendente e quanto à estrutura de suporte. O Quadro 2.3 apresenta um quadro resumo do sistema classificativo das coberturas em terraço, sendo posteriormente apresentado uma descrição mais detalhada de cada tipo.

Quadro 2.3 - Sistema classificativo para as coberturas em terraço (Lopes, 2010)

| | |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Quanto à acessibilidade | <ul style="list-style-type: none"> • Não utilizável • Acessível a pessoas • Acessível a veículos • Especiais |
| Quanto à camada de proteção da impermeabilização | <ul style="list-style-type: none"> • Sem proteção • Com proteção leve • Com proteção pesada |
| Quanto ao tipo de revestimento de impermeabilização | <ul style="list-style-type: none"> • Tradicional • Não tradicional |
| Quanto à localização da camada de isolamento térmico | <ul style="list-style-type: none"> • Com isolamento térmico sobre a estrutura resistente • Com isolamento térmico sob a estrutura resistente |
| Quanto à pendente | <ul style="list-style-type: none"> • Classe I • Classe II • Classe III • Classe IV |
| Quanto à estrutura resistente | <ul style="list-style-type: none"> • Tipo A • Tipo B • Tipo C • Tipo D |

2.3.1 Classificação quanto à acessibilidade

Como já apresentado, consoante a acessibilidade, as coberturas em terraço subdividem-se em quatro grupos, apresentados no Quadro 2.4.

Quadro 2.4 Classificação das coberturas quanto à acessibilidade (Picchi, 1986) (CSTB, 1981)

| Classe de coberturas | | Tipos de utilização |
|-----------------------------|----------|--------------------------------------------------------------------|
| Não utilizável ¹ | | Acesso limitado a trabalhos de manutenção ou reparação |
| Acessível a pessoas | | Acesso limitado à circulação de pessoas |
| Acessível a veículos | ligeiros | Acesso limitado à circulação de veículos ligeiros e de pessoas |
| | pesados | Permitida a circulação de veículos pesados e ligeiros e de pessoas |
| Coberturas especiais | | Coberturas ajardinadas, equipamentos industriais ou de outro tipo |

¹ As zonas de circulação, embora temporárias, devem merecer cuidados especiais, criando caminhos de circulação.

2.3.2 Classificação quanto à camada de proteção

O revestimento de proteção tem como função proteger o revestimento de impermeabilização de agressões de diversas nomeadamente as mecânicas, climáticas e químicas. Relativamente ao tipo de proteção utilizado, as coberturas podem enquadrar-se nos grupos apresentados no Quadro 2.5

Quadro 2.5 - Classificação das coberturas quanto ao tipo de proteção e dos materiais que a constituem

| Classes de coberturas | Materiais de proteção | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Aplicação | Natureza | Designação |
| Sem proteção | | | |
| Com proteção leve ou "auto-protegida" | em fábrica ¹ | mineral | areia fina areão gravilha lamelas e xisto |
| | | metálica | folha de alumínio folha de cobre |
| | | orgânica | folha de plástico |
| | em obra | mineral | areão gravilha |
| | | orgânica | tintas de alumínio pinturas com cal |
| Com proteção pesada ² | em obra, em camada rígida | | betonilha, ladrilhos sobre betonilha, placas prefabricadas: - de betão - de material cerâmico - de madeira |
| | em obra, em camada com material solto | | godo (calhau ou seixo), material britado |

¹ Quando se aplica a proteção leve em fábrica ao revestimento da impermeabilização, também se atribui a designação de "membrana auto-protegida". Esta proteção pode ser de natureza metálica (folhas de alumínio), mineral (materiais granulares) ou orgânica (folhas de plástico).

² Este tipo de proteção permite a realização de um piso de circulação.

No primeiro tipo, o revestimento de impermeabilização fica aparente, ou seja, sem qualquer camada aplicada sobre o mesmo.

Quanto à proteção leve, pode ser executada em obra ou em fábrica. Quando executado em fábrica, pode ser constituída por materiais de natureza mineral, metálica ou orgânica. Caso seja executada *in situ*, é geralmente constituída por uma pintura ou materiais granulares.

Por último, na proteção pesada, distinguem-se aquelas que são executadas em camada rígida das que são constituídas por materiais soltos. Em termos de inércia térmica e de durabilidade, tem muito melhor comportamento uma cobertura com um revestimento de proteção pesado do que uma cobertura com proteção leve. No entanto, é cada vez mais frequente o aparecimento de coberturas "auto-protegidas", o que exige uma boa adaptação do revestimento à situação em causa (adaptado de Lages, 1994).

2.3.3 Classificação quanto ao tipo de revestimento de impermeabilização

Os revestimentos de impermeabilização podem agrupar-se em dois grupos: revestimentos tradicionais e não-tradicionais.

No primeiro grupo enquadram-se os revestimentos que se conhecem, simultaneamente, as suas características e o seu comportamento em serviço. No segundo grupo enquadram-se os revestimentos que não cumprem estas condições. Este último caso requer estudos mais ou menos complexos para a sua utilização.² A Figura 2.1 é ilustrativa deste tipo de classificação.

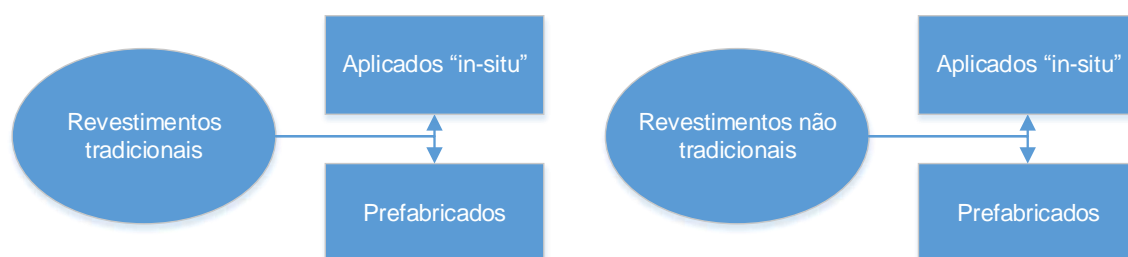


Figura 2.1 - Classificação das coberturas quanto ao tipo de revestimento de impermeabilização

2.3.4 Classificação quanto à localização da camada de isolamento térmico

A camada de isolamento térmico pode ser colocada, relativamente às outras camadas constituintes da cobertura, em três zonas diferentes. Consoante a sua posição relativa, assim se faz sentir o efeito das ações correntes térmicas, mecânicas e outras, de forma diferente nas restantes camadas.

A solução mais comum consiste na aplicação do isolamento térmico em camada intermédia como suporte de impermeabilização. Outra solução, que tem vindo a ter uma utilização cada vez mais frequente, consiste na aplicação da camada de isolamento térmico sobre o sistema de impermeabilização, correntemente designado como “cobertura invertida”. A Figura 2.2 apresenta o perfil de temperatura numa cobertura tradicional e invertida, em situação de Verão.

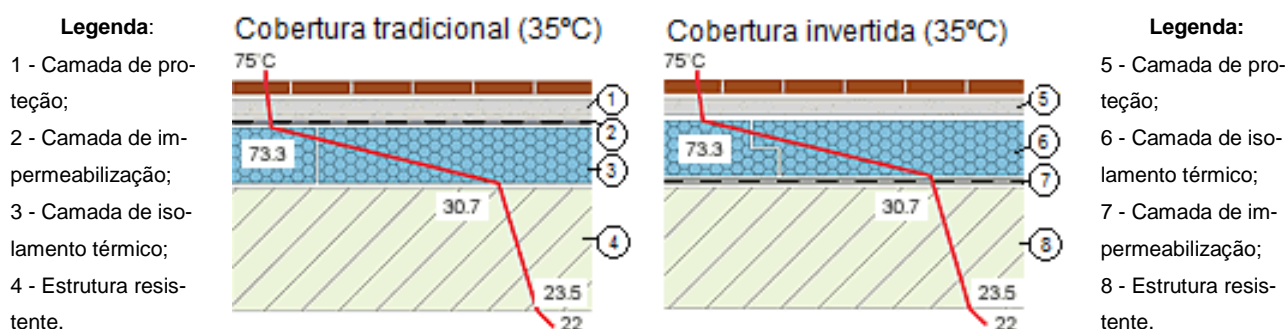


Figura 2.2 - Comparação da temperatura no revestimento de impermeabilização entre a cobertura tradicional e invertida (António, 2011)

A terceira solução consiste na aplicação do isolamento térmico pela face inferior da estrutura resistente, quer em tetos falsos, quer como camada ou revestimento aderente a essa estrutura.³

² Estes estudos são, normalmente, publicados em documentos de homologação e aplicação fornecidos pelo LNEC, quando os resultados são favoráveis.

³ Esta solução deve ser evitada porque apresenta uma redução significativa da inércia térmica, especialmente quando a estrutura resistente da cobertura é pesada, como no caso das lajes de betão armado.

2.3.5 Classificação quanto à pendente

As coberturas em terraço são caracterizadas por ter uma pendente com valores muito baixos, de forma a estarem quase, ou até mesmo, horizontais. O valor da pendente, abaixo da qual as coberturas podem ser consideradas em terraço, varia de país para país, embora na maior parte dos casos as diferenças sejam pouco significativas. Quanto à inclinação mínima, existe uma distinção entre os países que admitem coberturas com pendente nula e aqueles que não o permitem. O caso português é enquadrado na regulamentação nacional, nomeadamente pelo Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU). O mesmo estabelece em 1% o limite inferior das suas pendentes, em superfície corrente, valor esse que deve ser duplicado no caso particular de coberturas de edifícios de habitação social, conforme preconizam as recomendações técnicas aplicáveis a estes casos. A classificação das coberturas em terraço, segundo o valor da pendente, está intimamente relacionada com a sua constituição (tipos de sistemas de impermeabilização e de proteção) e acessibilidade. Por exemplo, no caso das coberturas acessíveis a pendente não deve exceder determinados limites de forma a colocar em causa a facilidade da circulação. O Quadro 2.6 apresenta uma síntese das inclinações máximas e mínimas nos vários países.

Quadro 2.6 - Inclinações máximas e mínimas nos vários países (adaptado de Lopes, 2010)

| Países | Inclinação máxima da cobertura | Inclinação mínima da cobertura |
|------------|--------------------------------|--------------------------------|
| França | 15% | 1% |
| Espanha | 15% | 1% * |
| Inglaterra | 17,5% | 8,7% * |
| Canadá | 16,5% | - |
| Bélgica | 17,5% | 10% * |
| Itália | - | 1% |

* No caso espanhol e belga, estabelece-se o valor de 10% para algumas classes de cobertura, tal como no caso inglês (8,7%).

A classificação das coberturas quanto à pendente pode ser feita de uma forma indireta, tendo em conta a facilidade de escoamento da água e a possibilidade de aplicação de determinados tipos de proteção sobre a mesma. Este critério é adotado pelas Diretivas da União Europeia para a Avaliação Técnica da Construção (UEAtc). Estas normas especificam quatro classes de coberturas:

- **Classe I:** cuja pendente origina estagnação de água e permite a aplicação de proteção pesada;
- **Classe II:** cuja pendente permite o escoamento de água e a aplicação de proteção pesada;
- **Classe III:** cuja pendente, embora permitindo o escoamento fácil da água, não aceita a aplicação de proteção pesada;
- **Classe IV:** cuja pendente impõe medidas especiais na aplicação das suas camadas.

2.3.6 Classificação quanto à estrutura resistente

Existem duas classificações possíveis atendendo à deformabilidade da estrutura resistente: estruturas rígidas e estruturas flexíveis. Estas designações são atribuídas consoante as deformações relativas na direção perpendicular ao plano da cobertura são, respetivamente, mais ou menos significativas para os vãos e soluções correntes dessas estruturas⁴ (Chudley, 2005) (Lopes, 2010).

⁴ O aspeto da deformabilidade é importante no sentido em que pode ser um fator limitativo da acessibilidade da cobertura e pode também ter influência substancial nas camadas sobrejacentes, nomeadamente na impermeabilização.

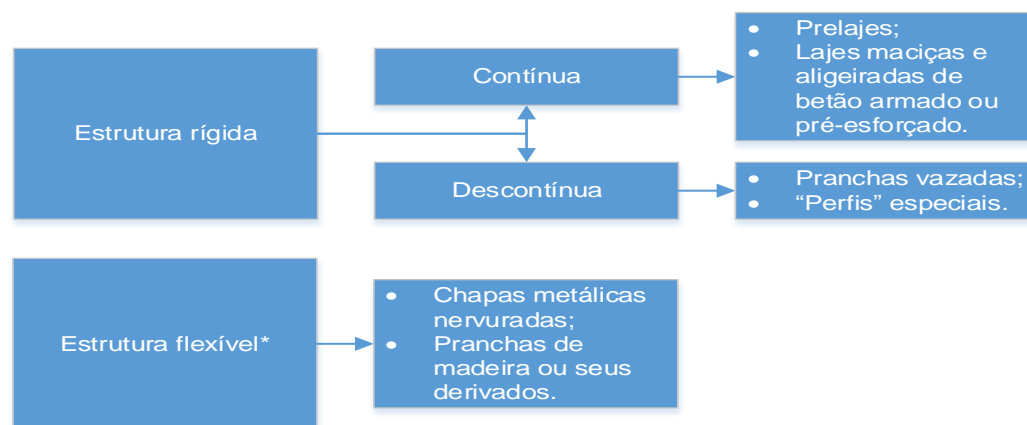
Entre as estruturas rígidas contínuas, estão as pré-lajes e as lajes maciças ou aligeiradas de betão armado ou pré-esforçado e, como estruturas resistentes rígidas descontínuas, pode-se citar as pranchas vazadas prefabricadas de betão armado ou pré-esforçado e alguns perfis prefabricados especiais como os perfis II. O documento francês, *Conception du gros oeuvre en maçonnerie des toitures destinées a recevoir un revêtement d'étanchéité* (1997), onde se especificam as características e condições de aplicação de estruturas resistentes em betão para coberturas em terraço, estabelece quatro classes (Quadro 2.7).

Quadro 2.7 - Características e condições de aplicação de estruturas resistentes em betão para coberturas em terraço (Document Technique Unifié 20.12, 1997)

| | |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo A | • Estruturas de betão armado ou pré-esforçado, em que pelo menos a camada superior da secção resistente é constituída por betão aplicado em obra de forma contínua, cobrindo toda a superfície corrente; |
| Tipo B | • Estruturas constituídas por pranchas prefabricadas de betão armado ou pré-esforçado, solidarizadas entre si por armaduras de amarração salientes das pranchas e envolvidas por betão aplicado em obra; |
| Tipo C | • Estruturas formadas por pranchas de betão armado ou pré-esforçado, apoiadas em elementos resistentes do mesmo material, e solidarizadas apenas pelo betão, aplicado em obra, de enchimento das juntas entre esses elementos resistentes; |
| Tipo D | • Estruturas constituídas por elementos prefabricados de betão armado ou pré-esforçado, colocados lado a lado, e solidarizados entre si apenas com o betão aplicado em obra, de enchimento das juntas entre eles. |

No caso das estruturas flexíveis, existem como soluções mais correntes as que são constituídas por chapas metálicas nervuradas ou por pranchas de madeira ou seus derivados.

A Figura 2.3 sintetiza a classificação das coberturas quanto à estrutura resistente.



* Em geral constituída por estruturas descontínuas.

Figura 2.3 - Classificação quanto à estrutura resistente (Document Technique Unifié 20.12, 1997)

2.4 Materiais e sistemas de impermeabilização

2.4.1 Materiais e sistemas de impermeabilização tradicionais

A utilização de materiais e sistemas de impermeabilização tradicionais, até à década de 70, foi de larga escala. Por exemplo, na Suécia (Nevander, 1977), França (Farhi, 1974) e Alemanha (Andernach, 1977), 90% das coberturas em terraço eram constituídas por estes sistemas. Fora da Europa, tem-se o exemplo do Japão (Koike, 1977), onde 70 a 75% dos revestimentos de coberturas eram realizados com sistemas tradicionais de camadas múltiplas. Nos Estados Unidos da América, segundo Cullen (1981), estes sistemas ocupavam parte substancial do mercado de impermeabilização.

Neste subponto, pretende-se apresentar, de forma breve, os revestimentos existentes, quer os formados por produtos de base pastosa aplicados *in situ*⁵ (Quadro 2.8), quer os formados por produtos prefabricados⁶ (Quadro 2.9).

Quadro 2.8 - Materiais e sistemas de impermeabilização tradicionais aplicados *in situ* (adaptado de Lopes (2010) e Paiva (2007))

| Betumes | Alcatrão e derivados | Asfalto |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> São misturas de hidrocarbonetos de origem natural ou artificial, contendo ainda compostos, mas em menor quantidade, tais como azoto, enxofre e oxigénio (LNEC, 1981) (LNEC, 1976) podem ser: betumes naturais, betumes de destilação direta ou betumes insuflados. | <ul style="list-style-type: none"> É um produto betuminoso que se obtém por pirogênese de matérias orgânicas (hulha, lenhite, turfa e madeira) (IRANOR et al., 1985) apresenta-se sob a forma líquida ou semi-sólida, e é utilizado como matéria prima para a preparação de produtos elaborados e de feltros com base em alcatrão (AFNOR, 1971). | <ul style="list-style-type: none"> O asfalto natural é extraído de rochas de origem sedimentar, em geral calcárias ou grés, que se encontram impregnadas por betume solúvel nos solventes orgânicos habituais (Lopes, 2010). |
| Produtos elaborados | Sistemas de impermeabilização com base em asfalto | Sistemas de impermeabilização com base em emulsões betuminosas |
| <ul style="list-style-type: none"> Podem ser: emulsões betuminosas, pinturas betuminosas, produtos betuminosos modificados e cimento vulcânico (Lopes, 2010). | <ul style="list-style-type: none"> Os mais correntes, são constituídos por duas camadas com funções predominantemente impermeabilizantes, e eventualmente uma terceira camada de proteção. devem ser aplicados em sistemas independentes, sobre as coberturas com pendentes não superior a 3% (CSTB, 1981). | <ul style="list-style-type: none"> São constituídos por múltiplas camadas de emulsões betuminosas, intercaladas ou não por armaduras, que em geral são de tela de fibra de vidro. em Portugal, normalmente utilizam-se 3, 4 ou 5 camadas, tendo neste momento a utilização muito limitada (Lopes, 2010). |

Quadro 2.9 - Materiais prefabricados e sistemas de impermeabilização tradicionais com base nesses produtos (adaptado de Lopes (2010) e Paiva (2007))

| Telas e feltros betuminosos | Sistemas de impermeabilização com base em telas ou feltros betuminosos |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> São materiais prefabricados, constituídos por uma ou duas armaduras, de feltro ou de tela, por misturas betuminosas que envolvem as armaduras e por materiais de acabamento superior e inferior. Consoante a armadura é uma tela ou um feltro, assim a membrana resultante se designará por feltro betuminoso ou tela betuminosa. Segundo IPQ (1988), é adotado o termo geral de membrana betuminosa para designar o produto prefabricado, armado ou não, constituído por mistura betuminosa e materiais de acabamento. | <ul style="list-style-type: none"> Estes sistemas são formados por múltiplas camadas de telas ou feltros betuminosos colados entre si, e eventualmente ao suporte, com betume insuflado ou por soldadura por meio de chama. os sistemas tradicionais de camadas múltiplas podem ser usados na generalidade das coberturas em terraço: coberturas de acessibilidade limitada ou acessíveis à circulação de pessoas e de veículos ligeiros e pesados. |

2.4.2 Materiais e sistemas de impermeabilização não-tradicionais

Este subcapítulo tem como objetivo apresentar, brevemente, os principais materiais utilizados na execução de sistemas de impermeabilização não-tradicionais prefabricados e aplicados *in situ* (Quadro 2.10).

Estes materiais são aplicados sob a forma líquida ou pastosa e a garantia de estanquidade só é atingida após a cura do próprio material. Em Portugal, o seu uso não abunda visto o seu campo de aplicação ser limitado. A Quadro 2.10 sintetiza a informação relativamente a materiais e sistemas de impermeabilização não-tradicionais aplicados *in situ*.

Relativamente aos materiais prefabricados, pode-se destacar três grandes grupos: o das membranas de betumes-polímeros, das termoplásticas e das elastómeras (Quadro 2.11).

⁵ Esta tipologia de soluções é cada vez menos utilizada.

⁶ Para além de formarem a base destes sistemas tradicionais, são também aplicados com outras funções na cobertura (como barreira ao vapor e camada de dessolidarização), mesmo quando a impermeabilização é constituída por um sistema não-tradicional (Lopes, 2010).

Quadro 2.10 - Materiais e sistemas de impermeabilização não-tradicionais aplicados *in situ* (adaptado de Lopes (2010) e Paiva (2007))

| Produtos líquidos ou pastosos | Sistemas de impermeabilização não-tradicional aplicados <i>in situ</i> | Sistema de impermeabilização e de isolamento térmico aplicado <i>in situ</i> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> Estes produtos têm como base a resina que pode ser de: polietileno clorossulfonado, policloropreno, poliuretano, poliéster não-saturado, epóxicas, vinílicas e acrílicas. as resinas mais utilizadas, segundo Griffin, 1982), são as de polietileno (garante estabilidade de cor e resistência à ação do calor) clorossulfonado e de policloropreno (garante estanqueidade à água), as quais são aplicadas separadamente em duas camadas sucessivas. | <ul style="list-style-type: none"> Utilizam produtos líquidos ou pastosos aplicados em mais do que uma camada intercalados ou não por armaduras. para além de funcionarem como sistemas de reparação de coberturas (UBAtc, 1978) (BBAA, 1989), são ainda vocacionados para constituírem revestimentos de impermeabilização novos, de cobertura de acessibilidade limitada (BBA et al., 1986), ou acessíveis, não só à circulação de pessoas (BBA, 1987) (IETcc, 1988). | <ul style="list-style-type: none"> Estes sistemas são constituídos por espumas rígidas de poliuretano projetado sobre o suporte, ficando a ele aderente. são sistemas formados por duas camadas tendo, respetivamente, funções de isolamento térmico e de impermeabilização e proteção contra a radiação ultra-violeta. são sistemas vocacionados para a aplicação, não só em coberturas em terraço, como também em coberturas inclinadas (Lopes, 2010). |

A mistura betuminosa que as constitui é modificada, ou por um polímero de polipropileno atático (originam as membranas APP⁷) ou por um polímero de estireno-butadienoestireno (originam as membranas SBS⁸).

Sobre as membranas de natureza termoplástica, apenas se fará menção às de uso mais corrente, as membranas de policloreto de vinilo (PVC).

No grupo das membranas elastoméricas, distingue-se as vulcanizadas das não vulcanizadas durante o processo de fabrico. Entre as membranas vulcanizadas, distingue-se as de monómero de etileno-propileno-dieno (EPDM), as de borracha butílica e as de neoprene. Das membranas não vulcanizadas, refere-se as de polietileno clorossulfonado (CSPE), as de polietileno clorado (CPE) e as de polisobutileno (PIB) (Quadro 2.12).

Relativamente ao suporte da camada de impermeabilização, pode ser constituído pela camada de isolamento térmico ou pela camada de regularização. Existem três sistemas de impermeabilização: a tela betuminosa, a tela de borracha e a tela de PVC. O próprio revestimento tem processos de aplicação que são apresentados no Quadro 2.13.

Quadro 2.11 - Materiais prefabricados e respetivos sistemas de impermeabilização não-tradicionais (adaptado de Lopes (2010) e Paiva (2007))

| Membranas de betumes modificados (betumes-polímeros APP e SBS) | Termoplásticas (membranas de PVC plastificado) | Elastoméricas (membranas EPDM) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> São obtidas por recobrimento de uma ou duas armaduras, com uma mistura betuminosa modificada por incorporação de uma resina plastomérica, no caso das membranas APP, e de uma resina elastomérica, no caso das membranas SBS. em média, a temperatura de amolecimento da mistura SBS é relativamente mais baixa do que a correspondente da mistura APP (Lopes, 2010). as membranas betume-polímero são vocacionadas para aplicação em coberturas com sistemas aderentes, semi-aderentes ou independentes do suporte. | <ul style="list-style-type: none"> As membranas podem ou não apresentar-se armadas. nos casos mais corrente, a matéria-prima (resina de policloreto de vinilo, plastificantes, estabilizantes, pigmentos e cargas), é homogeneizada e aplicada em duas películas, formando a camada. estes sistemas são, normalmente, independentes do suporte ou a ele fixados mecanicamente. | <ul style="list-style-type: none"> As membranas podem ou não fabricar-se armadas. As armaduras de uso mais corrente são as de poliéster, podendo utilizar-se armaduras de poliamida ("nylon"). estes revestimentos são vocacionados para coberturas de acessibilidade limitada a trabalhos de reparação ou manutenção (British Board of Agrément (a) et al., 1988). |

⁷ Membranas de betume-polímero APP.

⁸ Membranas de betume-polímero SBS.

Quadro 2.12 - Materiais prefabricados e respetivos sistemas de impermeabilização não-tradicionais (continuação)
(adaptado de Lopes (2010) e Paiva (2007))

| Membranas de borracha butílica | Membranas PIB | Membranas CPE | Membranas CSPE |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> As membranas de borracha butílica foram dos materiais elastoméricos de uso mais frequente em Portugal. Existem soluções de aplicação de revestimentos de impermeabilização com base em membranas de borracha butílica em sistemas aderentes e semi-aderentes, para além da solução mais corrente, em sistema independente. A fixação mecânica é outra possível solução (Espling et al., 1989). | <ul style="list-style-type: none"> Contrariamente às membranas de EPDM e borracha butílica (obtidas por calandragem), são obtidas por extrusão. Não são um produto vulcanizado e a generalidade das membranas não são armadas. A sua aplicação é restringida a coberturas de acessibilidade limitada, tal como a maioria dos produtos elastoméricos. | <ul style="list-style-type: none"> Após o processo de calandragem, resultam folhas de espessura reduzida onde se pode intercalar uma armadura (feltro de poliéster não-tecido) (British Board of Agrément (b), 1989). | <ul style="list-style-type: none"> Em geral, não são vulcanizadas e apresentam um elevado custo. São aplicadas em sistemas aderentes e a sua aplicação é restringida a coberturas de acessibilidade limitada. |

Quadro 2.13 - Tipo de processo de aderência do sistema de impermeabilização (adaptado de Lopes (2010) e Paiva (2007))

| Modo de ligação ao suporte | Processo de aderência |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sistemas aderentes - totalmente aderentes ao suporte | Os produtos de ligação são aplicados a quente ou a frio. Realiza-se uma fusão do material da superfície interior do revestimento e o aperto do mesmo contra o suporte. |
| Semi-aderentes - parcialmente aderentes ao suporte | São utilizados produtos de colagem. Estes poderão ser aplicados a quente ou a frio. Uso de material auxiliar (feltros simples ou betuminosos). O processo de aderência consiste numa fixação mecânica (pregagem) de uma primeira camada ao suporte. |
| Independentes - totalmente desligados do suporte | Os revestimentos apenas são aplicados sobre o suporte. Aplicação de uma camada de dessolidarização entre o revestimento e o suporte. |
| Fixos mecanicamente | Fixações pontuais - parafusos, afastados entre si 0.20 m a 0.40 m, apertados contra uma anilha. Fixações lineares - parafusos, afastados entre si 0.20 m a 0.40 m, apertados contra um elemento linear rígido, colocado sobre o sistema de impermeabilização. |

Relativamente ao sistema de impermeabilização, são apresentadas as seguintes vantagens e desvantagens de cada solução (Quadro 2.14) (Mascarenhas, 2008).

Quadro 2.14 - Vantagens e desvantagens do sistema de impermeabilização (adaptado de Mascarenhas, 2008)

| | Vantagens | Desvantagens |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tela betuminosa | Processo de aplicação conhecido; permeável ao vapor de água, é aplicada de forma aderida ou semi-aderida o que limita as infiltrações; os pontos singulares não necessitam de acessórios específicos. | Não deve ficar exposta; não pode ser aplicada em superfícies húmidas; carece de um primário antes da aplicação; os cantos e pontos singulares têm de ser arredondados. |
| Tela de borracha | Pode ser aplicada em dias húmidos ou frios; pode ficar em contacto com outros materiais; elevada elasticidade e pode não ter juntas; pode ficar exposta à radiação; tolera bem águas paradas. | Constitui uma barreira ao vapor de água; material oneroso; aplicação realizada por equipas especializadas; são necessários acessórios específicos nos pontos singulares. |
| Tela de PVC | É um material económico e leve; pode ficar exposta; tolera bem a acumulação de água. | Não é elástica pelo que não pode ser aplicada de forma aderida; apresenta incompatibilidades com alguns materiais; nos pontos singulares, é necessária a aplicação de acessórios específicos. |

2.5 Classificação de materiais e sistemas de impermeabilização

2.5.1 Classificação de materiais de impermeabilização

Os materiais tradicionais podem classificar-se nos seguintes tipos fundamentais: materiais betuminosos, materiais auxiliares, produtos elaborados e produtos prefabricados (LNEC et al., 1989) (Quadro 2.15).

Quadro 2.15 - Classificação de materiais de impermeabilização de coberturas (adaptado de LNEC et al., 1989)

| Materiais tradicionais | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Materiais betuminosos | Materiais auxiliares | Produtos elaborados | Produtos prefabricados |
| <ul style="list-style-type: none"> • Betume asfáltico; • asfalto; • alcatrão e derivados. | <ul style="list-style-type: none"> • Armaduras: feltro, telas e folhas; • matérias minerais: cargas, acabamentos; • materiais metálicos: folhas. | <ul style="list-style-type: none"> • Emulsões betuminosas; • pinturas betuminosas; • produtos betuminosos modificados; • ligantes; • cimento com pozolanas. | <ul style="list-style-type: none"> • Armaduras saturadas ou impregnadas: feltros betuminosos, telas betuminosas; • membranas betuminosas: armadas com feltro, tela ou folha. |

| Materiais não-tradicionais | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Produtos em pasta | Produtos prefabricados |
| <ul style="list-style-type: none"> • Emulsões modificadas; • materiais plásticos: termoplásticos; termoendurecidos; • resinas diversas: polietileno clorosulfonado, poliuretano, acrílicas e silicónicas, poliéster. | <ul style="list-style-type: none"> • Membranas de betumes modificados; • membranas termoplásticas; • membranas elastoméricas. |

2.5.2 Classificação de sistemas de impermeabilização

A classificação dos sistemas de impermeabilização pode ser feita sob várias óticas. Pode-se classificar um sistema quanto à sua constituição (Figura 2.4) ou quanto ao modo de ligação ao suporte (Quadro 2.16).

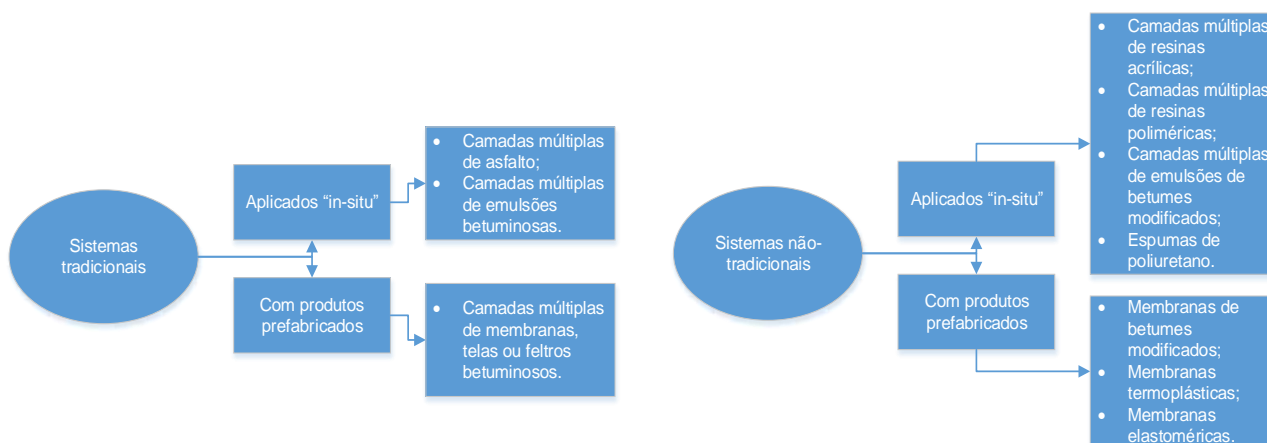


Figura 2.4 - Classificação de sistemas de impermeabilização de coberturas quanto à sua constituição (adaptado de Lopes (2010) e Paiva (2007))

Quanto ao modo de ligação ao suporte, os sistemas de impermeabilização podem ser classificados como indicado no Quadro 2.16.

Quadro 2.16 - Classificação dos sistemas de impermeabilização quanto ao modo de ligação ao suporte (adaptado de Lopes (2010) e Paiva (2007))

| Sistema aderente | Sistema semi-aderente | Sistema independente | Sistema fixado mecanicamente |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Sistema, em superfície corrente, totalmente aderente ao suporte; • a aderência ao suporte pode ser feita através de produtos de ligação ou pela fusão do material da superfície inferior do revestimento. | <ul style="list-style-type: none"> • Sistema, em superfície corrente, parcialmente aderente ao suporte; • a aderência ao suporte pode efetuar-se por: produtos de colagem, recurso a materiais auxiliares (feltros simples ou betuminosos). | <ul style="list-style-type: none"> • A não aderência ao suporte é garantida pela interposição de uma camada (camada de dessolidarização) entre o mesmo e o revestimento de impermeabilização. | <ul style="list-style-type: none"> • Sistema vocacionado quando a estrutura resistente são chapas metálicas nervuradas; • existem dois tipos de fixação: fixações pontuais e lineares. |

Em qualquer dos processos de fixação anteriormente referidos, os remates da impermeabilização em superfície corrente com elementos emergentes na cobertura são realizados totalmente aderentes. Em certos remates com elementos emergentes, nomeadamente quando a sua altura é significativa, torna-se necessário complementar aquela ligação com fixações mecânicas (Lopes, 2010).

2.6 Classificação dos materiais isolantes térmicos

A classificação dos materiais de isolamento térmico pode ser feita sob diversas óticas (Delgado, 1976). Em 2.3.4, fez-se referência às diferentes localizações da camada de isolamento térmico. As propriedades desta camada devem ser diferentes, nomeadamente ao nível do comportamento à água, consoante é ou não protegida pelo revestimento de impermeabilização.

De seguida, apresenta-se as classificações possíveis para os isolamentos térmicos.

2.6.1 Classificação segundo a natureza das matérias-primas

Esta classificação adquire particular interesse aquando da análise de compatibilidades químicas (ou mesmo físicas) entre os materiais isolantes e os materiais das camadas que com eles contactam (por exemplo, o revestimento de impermeabilização).

Segundo o tipo de matérias-primas usados no fabrico ou na confeção, os materiais de isolamento térmico podem-se classificar como indicado no Quadro 2.17.

Quadro 2.17 - Classificação de materiais isolantes quanto à natureza das matérias-primas (adaptado de Lopes, 2010)

| Isolantes minerais | Isolantes vegetais | Isolantes sintéticos | Isolantes mistos |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Fibras minerais: lã de rocha; lã de vidro • perlite expandida; • vermiculite expandida; • espuma de vidro; • betões leves: betão celular; betões com agregados leves. | <ul style="list-style-type: none"> • Aglomerado expandido de cortiça; • aglomerado de fibras de madeira; • aglomerado de partículas de madeira; • aglomerado de aparas de madeira mineralizada com cimento; • aglomerado de fibras de linho. | <ul style="list-style-type: none"> • Poliestireno expandido; • espumas rígidas de poluretano; • espumas de polisocianurato; • espumas fenólicas. | <ul style="list-style-type: none"> • Perlite expandida + poliuretano; • perlite expandida + lã de rocha. |

2.6.2 Classificação segundo o modo de produção ou execução

Os materiais de isolamento térmico podem ainda ser classificados consoante o seu modo de produção ou exe-

cução. Estes materiais podem apresentar-se em obra, prefabricados ou executados *in situ*. O Quadro 2.18 resume as possibilidades de classificação do isolamento térmico quanto ao modo de produção ou execução.

Quadro 2.18 - Classificação de materiais isolantes quanto ao modo de produção ou execução (adaptado de Lopes, 2010)

| Tipo de isolante | Modo de produção ou execução |
|-----------------------|-------------------------------------------------|
| Prefabricados | Placas; Mantas. |
| Em pasta ou em espuma | Moldados; Projetados. |
| Granulares | Colocação livre; Aglomerados com um ligante. |

2.7 Principais funções das camadas constituintes da cobertura em terraço

Tendo-se apresentado as camadas constituintes de uma cobertura, por ordem de colocação ascendente, cabe ainda tecer algumas considerações, nomeadamente a respeito das suas funções mas também sobre o posicionamento relativo de algumas camadas. O Quadro 2.19 sintetiza a informação anteriormente descrita. Por fim, falta mencionar os pontos singulares, que são zonas da cobertura que exigem trabalhos complementares de impermeabilização (juntas de dilatação, remates em zonas salientes da cobertura, platibandas, algerozes, tubos de queda, soleiras, entre outros).

A adequada execução de detalhes relativos aos pontos singulares é decisiva para o bom funcionamento da cobertura (Chudley, 2005) (Gomes, 1968). Outro fator decisivo é o correto dimensionamento das caleiras, tubos de queda e da própria pendente da cobertura é de extrema importância para evitar futuras anomalias (Rocha, 2008) (Batista, 2004).

A classificação dos pontos singulares utilizada é uma adaptação da abordagem seguida noutros trabalhos, como por exemplo e consiste nos seguintes quatro elementos Lopes (1994):

- ✓ paredes emergentes;
- ✓ juntas de dilatação;
- ✓ pontos de drenagem e evacuação de águas pluviais;
- ✓ outros elementos emergentes.

As diferenças estão sobretudo ao considerar as platibandas e soleiras de porta no grupo correspondente a paredes emergentes.

A garantia de estanqueidade nestes pontos singulares dependente, particularmente, da cuidada execução da impermeabilização, atendendo a algumas precauções, tais como (Alves, 2013):

- ✓ iniciar a impermeabilização pelos pontos singulares, prosseguindo posteriormente pela zona corrente, iniciando-se aí a partir das zonas de menor cota;
- ✓ todos os remates devem ser completamente aderentes, independentemente do tipo de ligação utilizado no revestimento de impermeabilização da zona corrente. Os remates devem ainda ser reforçados, garantindo assim uma maior resistência ao arrancamento, deslizamento ou fissuração;
- ✓ ao utilizar acessórios e produtos complementares, garantir que estes sejam os indicados pelo fabricante da impermeabilização, contribuindo assim para uma total compatibilidade entre os produtos utilizados.

Para a classificação dos pontos singulares, foi admitida a seguinte separação (adaptado de Lopes, 1994): paredes emergentes; juntas de dilatação; pontos de drenagem e evacuação de águas pluviais; outros elementos emergentes. As diferenças estão sobretudo em considerar as platibandas e soleiras de porta no grupo correspondente a paredes emergentes.

Quadro 2.19 - Principais funções das camadas constituintes da cobertura em terraço (adaptado de Rocha (2008), Batista (2004), Fagundes (2013), Gomes (1968), Chudley e Greeno (2005), Serôdio (2004), Harrison (1996))

Camada de forma

- A camada de forma, em geral, é colocada diretamente sobre a estrutura resistente para conferir uma pendente à cobertura. Esta camada pode não ser executada no caso de a estrutura resistente já possuir a pendente necessária. A camada de forma pode substituir (total ou parcialmente) a camada de isolamento térmico, dados os materiais que a compõem. Sendo este o caso, a barreira ao vapor deverá ser colocada entre a camada de forma e a estrutura resistente (ou camada de regularização, caso esta tenha sido necessária), ao invés de ser aplicada sobre a camada de forma (Gomes, 1968). Esta camada é considerada uma sobrecarga com uma considerável importância para a cobertura, mas não confere resistência à estrutura da cobertura. Deve ser constituída por material leve (betão de argila expandida, granulado de cortiça, betão celular e betão leve de poliestireno expandido), permitindo um correto funcionamento de todo o sistema (adaptado de Rocha, 2008).

Estrutura resistente

- A estrutura resistente tem como função assegurar a resistência às ações mecânicas a que a cobertura estará sujeita quer ao longo do seu tempo de utilização / exploração, como a ação da neve ou água, quer durante o tempo de execução do sistema de cobertura (adaptado de Fagundes (2013) e Chudley e Greeno (2005)). Durante a sua vida útil, é necessário verificar periodicamente a existência de deformações, que posteriormente podem originar a rotura dos elementos sobrejacentes e consequentemente infiltrações (Serôdio, 2004).

Camada de regularização

- Esta camada tem a função de regularizar a superfície, nos casos em que a camada de forma ou estrutura resistente, no caso de já ter pendente, se apresentam demasiado rugosas ou irregulares para receber a próxima camada, usualmente a barreira pára-vapor ou, alternativamente, uma camada de difusão térmica.

Barreira ao vapor

- Esta camada localiza-se sob a camada de isolamento térmico e é normalmente aplicada sobre a camada de forma ou sobre a camada de regularização. Tem como função evitar que o vapor, proveniente do interior do edifício, se condense no isolamento térmico, o que, caso se verifique, pode diminuir o seu desempenho.

Camada de isolamento térmico

- Esta camada pode localizar-se em três zonas distintas: pode ser aplicada sobre a estrutura resistente e, neste caso, o mesmo pode ser executada entre o suporte de impermeabilização e a camada de forma (isolamento térmico intermédio) ou apenas sobre a impermeabilização. Esta última solução é denominada por "cobertura invertida", por nesta situação ocorrer uma inversão do posicionamento das camadas de isolamento térmico e impermeabilização, tendo em conta a solução tradicional. Por outro lado, a camada de isolamento térmico pode ser aplicada sob a estrutura resistente, constituindo a solução tradicional. O sistema em causa é, na maioria dos casos, utilizado em tectos falsos e como revestimento aderente a essa estrutura. Tem como função contribuir para a satisfação das exigências de conforto térmico, minimizando a ocorrência de condensações e baixando as trocas de calor entre o exterior e interior (adaptado de Batista, 2004).

Camada de difusão de vapor de água

- A camada de difusão de vapor de água tem como objetivo igualar a pressão do vapor de água confinada entre a camada do revestimento de impermeabilização e o seu suporte, devendo esse vapor de água ser libertado para o exterior através de soluções construtivas apropriadas como chaminés de ventilação ou de remates específicos com elementos emergentes (Lopes, 1994a). No fundo, tem o mesmo objetivo da barreira pára-vapor, isto é, prevenir o vapor de água ascendente de chegar ao isolamento térmico, só que com a introdução de detalhes construtivos permite também a evaporação do vapor de água sem que este condense nas camadas sensíveis (Fagundes, 2013).

Revestimento de impermeabilização

- É a camada responsável por conferir a capacidade impermeabilizante face à água do sistema de cobertura e é assente normalmente na camada de isolamento térmico ou na camada de forma.

Proteção do revestimento de impermeabilização

- Tem como objetivo a proteção do revestimento de impermeabilização das ações mecânicas e ambientais, de forma a garantir durabilidade e o bom desempenho do sistema de impermeabilização. A escolha desta proteção tem que ter em conta o tipo de uso da cobertura tal como o tipo de revestimento de impermeabilização. É necessária precaução durante a conceção e execução desta camada, com o intuito de permitir um eficaz funcionamento de todo o sistema (Harrison, 1996).

Barreira de proteção térmica

- Esta barreira tem como objetivo evitar que o suporte do revestimento de impermeabilização seja afetado pela aplicação (recorrendo a fonte de calor) do revestimento de impermeabilização. É aplicada sobre o suporte do revestimento de impermeabilização.

Barreira de separação química

- Esta barreira tem como objetivo evitar o contacto direto entre elementos incompatíveis entre o revestimento de impermeabilização e o seu suporte.

Camada de dessolidarização

- Esta camada, aquando da existência de uma camada de proteção pesada, tem como objetivo reduzir as interações entre a camada proteção pesada e o revestimento de impermeabilização.

Nas paredes emergentes, no encontro entre a superfície corrente e uma parede emergente (seja esta uma platibanda, chaminé ou soleira), é importante conceber uma disposição construtiva que permita garantir, simultaneamente, a estanqueidade do sistema de impermeabilização e a sua durabilidade face aos agentes exteriores agressores, sejam naturais ou humanos. Nas paredes emergentes e platibandas, deve ser executado um remate em todo o perímetro da zona corrente, numa altura variando entre 15 e 30 centímetros acima do piso acabado (Alves, 2013). Este remate diminui a possibilidade da água acumulada no pavimento impermeabilizado, após uma chuvada se infiltrar através das zonas superiores dos elementos emergentes. Existem duas tipologias de remates: o denominado remate protegido (no caso de se tratar de alvenaria) e o remate não protegido (para o betão armado), abordado em 3.3.20. Relativamente às soleiras, é fundamental evitar o erro de não sobreelevar as mesmas de forma a cumprir as indicações estipuladas nos documentos de aplicação do LNEC, que recomendam, para este caso, uma altura mínima de 0,10 m de remate. É de referir que nos casos em que a altura da soleira não garanta uma altura mínima de remate (abordado em 3.4.2.1), a disposição construtiva recomendada passa por prolongar o remate da impermeabilização sob a soleira, protegê-lo superiormente com uma argamassa, por exemplo, e sobre esta então assentar a soleira (Figura 2.5) (CSTC, 1994).

Nos capeamentos das platibandas, é também importante garantir que a estanqueidade à água não é comprometida, devendo-se por isso aplicar capeamentos apropriados constituídos nomeadamente por membranas de impermeabilização auto-protegidas, chapas metálicas ou de fibrocimento, ou por elementos pré-fabricados de pedra ou betão. Além destes elementos, o capeamento deverá ter uma ligeira pendente para o interior do terraço como se pode ver na Figura 2.6 e na Figura 2.7.

Em relação às juntas de dilatação, as zonas das coberturas que as contêm devem ser alvo de pormenorização específica de forma a evitar fissurações no sistema de impermeabilização ou descolamentos das zonas de sobreposição dos remates, pormenorização essa que poderá ser diferenciada consoante a tipologia da cobertura, tal como abordado em 3.3.13.

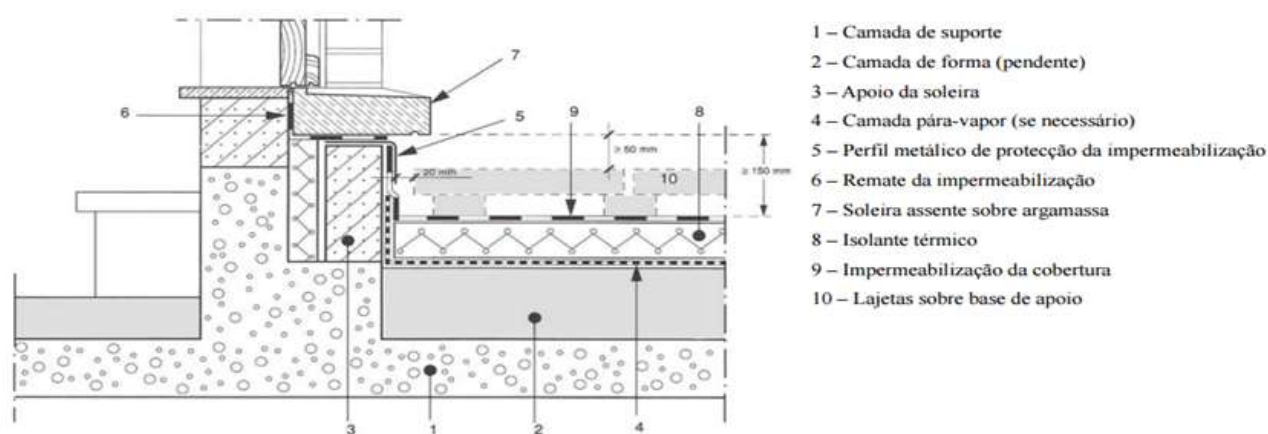


Figura 2.5 - Pormenor construtivo face a uma soleira (CSTC, 1994)

Nos pontos de drenagem e evacuação de águas pluviais, é fulcral evitar obstruções à evacuação da água e os defeitos de ligação em superfície corrente com os dispositivos de evacuação da água.

Para tal, deve-se optar pelo recurso a um ralo de pinha nas embocaduras dos tubos de queda (Paulo et al., 2012), promover um rebaixamento da camada de forma nas zonas de tubo de queda para assim se fazer face ao engrossamento do revestimento de impermeabilização nessa zona e recorrer a peças de ligação com o

tubo de queda ou outro dispositivo de recolha e descarga (aro intercalado no sistema de impermeabilização, solidário com um canhão).

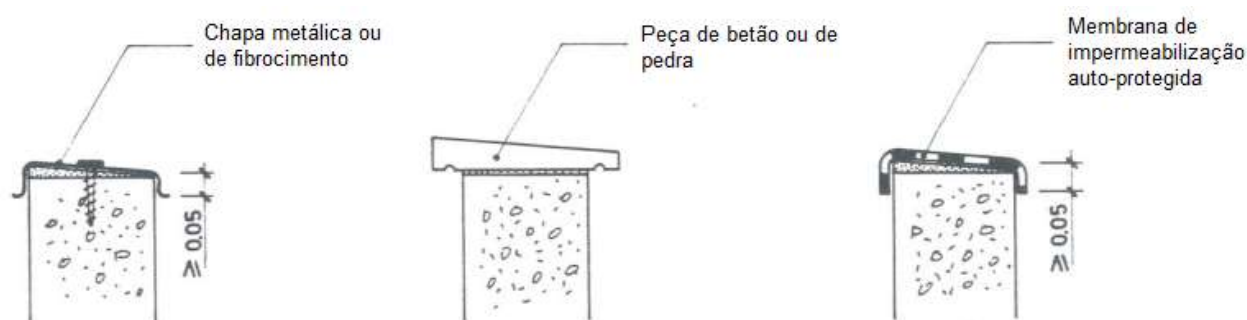


Figura 2.6 - Pormenores construtivos de capeamentos de platibandas (adaptado de Lopes, 1994b)

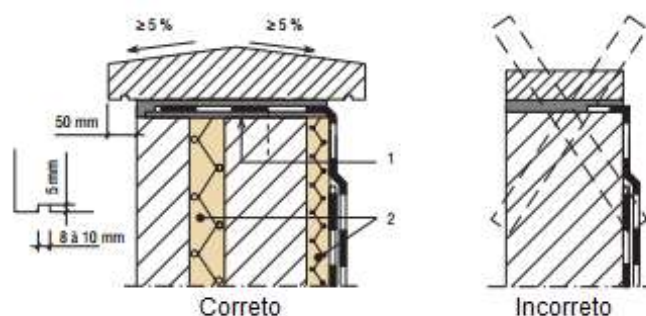


Figura 2.7 - Correta execução de capeamento (CSTC, 1998)

Nas zonas de drenagem das águas pluviais, é importante garantir que as membranas vão sendo aplicadas no sentido ascendente para que o ligeiro ressalto resultante das juntas de sobreposição de membranas não fique exposto diretamente à lâmina de água, tal como referido em 3.3.17.

Nos outros elementos emergentes, incluem-se as chaminés, clarabóias (Figura 2.8), tubos de ventilação e outros eventuais elementos emergentes de seção circular. De uma forma geral, a solução a adotar para estes pontos singulares consiste na aplicação de um cordão flexível no bordo inferior do elemento de forma a desolidarizar o revestimento de impermeabilização usado na superfície corrente, da tubagem (Lopes, 1994). O topo do remate pode ser realizado através de cintagem e aperto nessa zona, complementada com um vedante apropriado, como referido em 3.3.20.

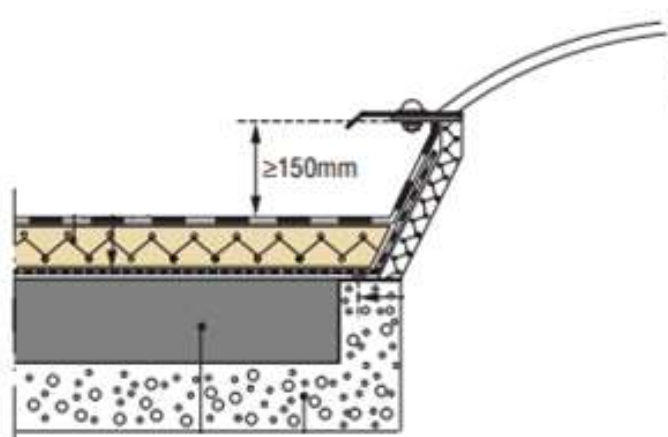


Figura 2.8 - Pormenor construtivo de uma claraboia (CSTC, 1998)

2.8 Síntese

O presente capítulo apresentou, de forma breve, as principais tecnologias disponíveis para a execução de coberturas. Neste capítulo, foram abordadas as exigências funcionais das coberturas, as respectivas classificações possíveis, as principais funções de cada camada e os materiais utilizados.

Quanto às exigências funcionais, agrupam-se em três classes fundamentais: exigências de segurança, exigências de habitabilidade e de durabilidade, sendo vulgar associar as exigências de economia.

As coberturas em terraço podem ser classificadas segundo várias óticas: quanto à acessibilidade; quanto à camada de proteção; segundo o tipo de revestimentos de impermeabilização; quanto à localização da camada de isolamento térmico; quanto à pendente e quanto à estrutura de suporte.

Foi possível constatar a diversidade de materiais dos materiais utilizados ao nível das várias camadas que constituem o sistema de cobertura.

As camadas que podem constituir o sistema de cobertura são a estrutura resistente, o suporte de impermeabilização, o revestimento da impermeabilização e a proteção desse revestimento, a camada de regularização, a camada de forma, a barreira ao vapor, a camada de isolamento térmico, a camada de difusão de vapor de água e camada de dessolidarização. Relativamente as estas camadas, não se apresentou as camadas presentes nas coberturas ajardinadas nem se especificou os tipos de revestimentos possíveis. Optou-se por apresentar detalhes, como a classificação, características e possíveis materiais constituintes, do sistema de impermeabilização e isolamento térmico. Destas duas camadas, foram apresentados apenas os materiais mais utilizados e necessários para melhor compreensão do presente trabalho.

Naturalmente, tanto as possíveis soluções de coberturas planas como os materiais que as constituem apresentam vantagens de desvantagens, pelo que a sua adoção deve ter em consideração parâmetros como as exigências funcionais, o aspeto estético e o tipo de utilização do edifício.

3 Anomalias em coberturas em terraço

3.1 Considerações iniciais

As coberturas desempenham um papel fundamental na proteção dos edifícios contra os agentes atmosféricos e devido à sua exposição são dos elementos construtivos mais afetados. Atendendo a este facto, é importante conhecer as anomalias e suas causas para poder diagnosticar e reabilitar da forma mais assertiva.

Importa antes de mais referir que uma anomalia pode ser entendida como a indicação de um possível defeito, ou seja, a indicação de uma possível situação em que um ou mais elementos não cumprem a sua função (CIB, 1993). Segundo Cash (2003), citando *Architecture and Engineering Performance Information Center* (AEPIC), uma anomalia é uma inaceitável diferença entre o desempenho expectável e o observado.

Existem outros autores que invocam diferentes definições, como Potter (1991) que considera uma anomalia como sendo algo que não tem um desempenho adequado considerando um determinado período de tempo razoável, ou ainda Kaminetzky (1991) que define anomalia como “ (...) um erro humano; ausência de *performance*; insucesso; insuficiência; perda de capacidade; término do funcionamento adequado”.

Existem alguns estudos, a nível internacional, que comprovam a importância da análise das anomalias registadas em coberturas em terraço.

Freitas e Sousa (2003) refere um estudo realizado pelo Sycodés², entre 1999 e 2001, em França, que analisou cerca de 39.000 sinistros, a que corresponderam custos de reparação no total de cerca de €200.000.000.

Neste estudo, as coberturas e as fachadas foram os elementos mais afetados pelas anomalias atingindo no seu conjunto 54% (coberturas, fachada e caixilharia) dos sinistros declarados, sendo que as anomalias em coberturas em terraço representaram 11% do total dos sinistros (Figura 3.1).

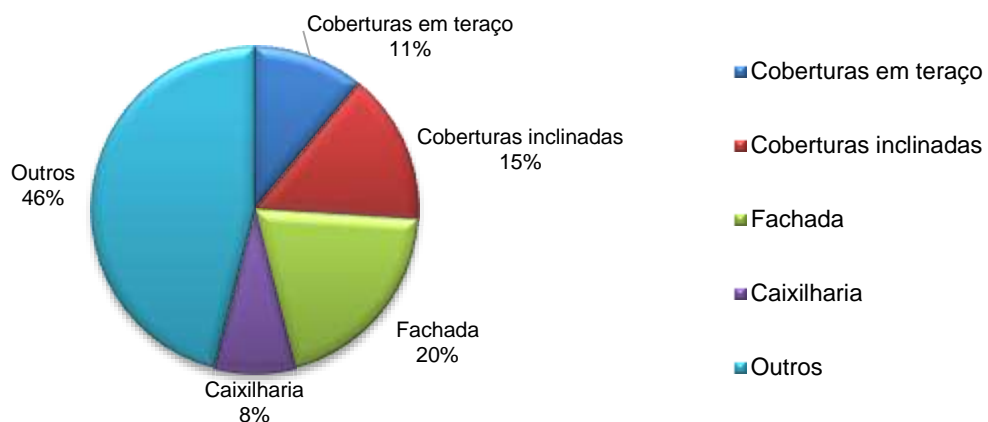


Figura 3.1 - Distribuição dos sinistros das anomalias nos elementos construtivos (adaptado de Freitas e Sousa, 2003)

Neste estudo, é ainda possível observar que as anomalias são devidas a problemas de estanqueidade à água (62%) (Figura 3.2). As deficiências de estanqueidade, em geral, encontram-se associadas aos pontos singulares da cobertura, nomeadamente ao remate do sistema de impermeabilização com os elementos do contorno (Freitas e Sousa, 2003).

No caso português, segundo Freitas e Sousa (2003), as principais anomalias identificadas com base no catálogo de anomalias apresentado por Sousa (2004) são: as infiltrações (31%), a degradação do revestimento (27%) e a degradação dos pontos singulares (18%), tal como se pode observar na Figura 3.3.

² Sistema de observação dos sinistros registados pelas companhias de seguros referentes a seguros de construção, obrigatórios desde 1979. Este sistema foi criado em França pela *Agence Qualité Construction* e pretende regular a qualidade da construção.

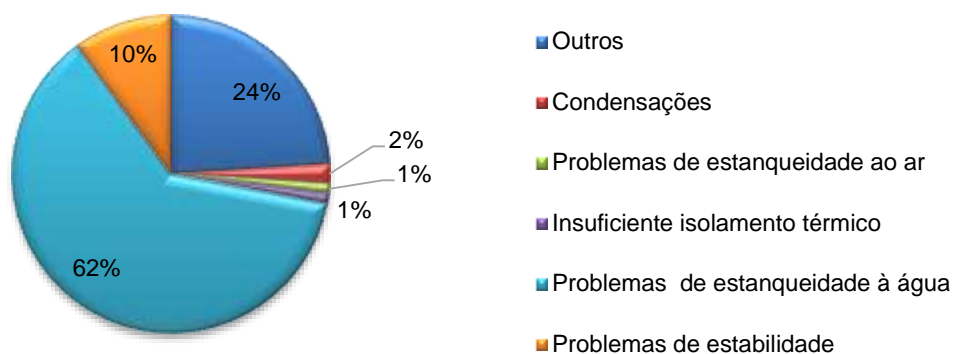


Figura 3.2 - Principais anomalias (adaptado de Freitas e Sousa, 2003)



Figura 3.3 - Principais anomalias em Portugal (adaptado de Freitas e Sousa, 2003)

Relativamente às coberturas em terraço, de acordo com a Figura 3.4, verifica-se que os sinistros ocorrem, principalmente, nas coberturas em terraço não utilizáveis (46%).

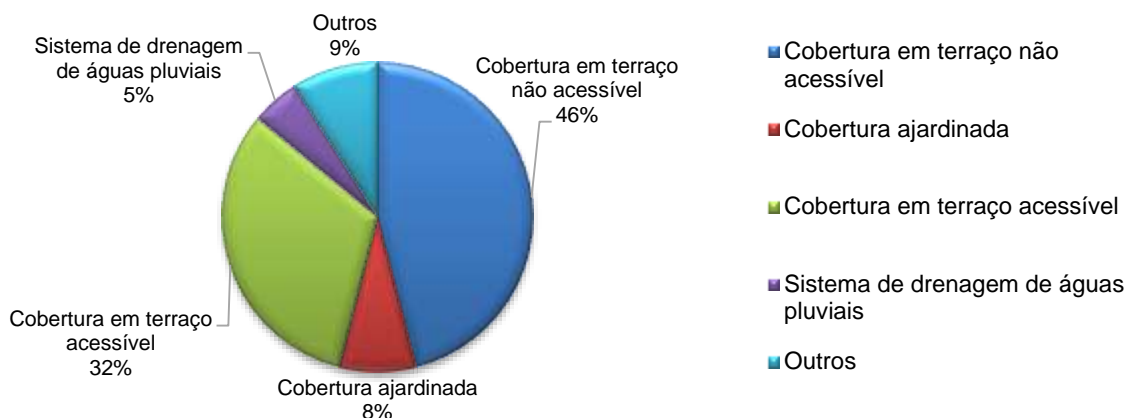


Figura 3.4 - Distribuição dos sinistros analisados e do custo dos trabalhos de reparação de danos ocorridos em coberturas em terraço (Freitas e Sousa, 2003)

Tendo em consideração a relevância da temática em questão e com vista a reunir o conhecimento existente sobre a mesma e a normalização das inspeções, respetivos relatórios e fichas de inspeção, pretende-se criar um sistema de classificação de anomalias em coberturas em terraço.

A uniformização e sistematização da informação dispersa é fundamental para a obtenção de uma avaliação o mais precisa e inequívoca possível. Esta necessidade estende-se, igualmente, às causas possíveis das anomalias e às técnicas de reparação e, neste sentido, procurar-se-á obter relações entre causas e efeitos das várias anomalias. Este capítulo tem início com a proposta do sistema classificativo de anomalias sendo que, posteriormente, é apresentada uma matriz de correlação entre as anomalias e os vários locais possíveis da sua ocorrência.

Posteriormente, é feita uma caracterização das anomalias ao nível das formas de manifestação e possíveis consequências. É ainda proposto um sistema classificativo das causas prováveis, diretas e indiretas, que estão na origem das anomalias e de onde resultam índices de correlação, que permitem a construção de uma matriz de correlação entre as anomalias e as respetivas causas associadas. Com base nesta matriz, são definidas relações de simultaneidade entre anomalias, das quais resulta a construção de uma outra matriz denominada de matriz inter-anomalias.

Por fim, é apresentado um exemplo de uma ficha de anomalia, onde se pretende resumir toda a informação relativa a cada anomalia.

3.2 Classificação das anomalias

Segundo vários autores, o enquadramento dos principais casos de patologia em classes pode fazer-se de acordo com diversos critérios: segundo a causa dessa patologia, segundo a importância das consequências que daí advêm, segundo a facilidade de reparação da zona afetada, segundo a natureza dos materiais das várias camadas das coberturas, segundo a idade da cobertura, segundo a proteção utilizada, entre outros. Segundo Lopes (2010), as anomalias das coberturas em terraço resultam normalmente da contribuição de diversos fatores, mas poderia eventualmente reduzir-se a sua ocorrência (pelo menos durante o tempo de vida útil dos materiais das várias camadas) caso houvesse uma melhor definição das soluções adotadas. As anomalias estão por isso associadas a usos inadequados e outras ações por parte do proprietário, erros de conceção, deficiente execução e uso de materiais inapropriados (Cash et al., 2003).

Uma eventual classificação das anomalias através das suas causas iria originar alguma repetição e mesmo indefinição, tal como uma lista mais extensa, porque a mesma anomalia pode ser originada por várias causas. O critério de organização baseado no local da ocorrência da anomalia também foi descartado, pois daria origem a eventuais repetições visto que uma anomalia como a “Fissuração” tanto pode ocorrer em zona corrente como num ponto singular.

Por estas razões, o critério de diferenciação / organização das anomalias adotado foi o seu aspeto visual. Este critério tem como objetivo a redução do número de anomalias. Foram ainda agrupadas algumas anomalias, como no caso das manchas de humidade de condensações / infiltrações, que, sendo diferentes na sua essência, apresentam o mesmo aspeto visual, seguindo por isso o critério estabelecido. Existe a necessidade de esclarecimento relativamente ao aparecimento, em simultâneo, de anomalias / causas, quer na lista de classificação das anomalias quer na lista das possíveis causas. É necessário clarificar que uma anomalia pode ser simultaneamente uma causa e por isso aparece representada nas duas listas. Considere-se o exemplo da “Acumulação de detritos”, que é uma causa, tendo em conta que origina o empoçamento mas, simultaneamente, é uma anomalia no sentido em que deriva da falta de limpeza num determinado local.

Nas anomalias mais recorrentes, ou seja, naquelas que se verificam um elevado número de vezes, procura-se fazer uma distinção relativamente ao seu grau de afetação. Tem-se o exemplo da fissuração que se prevê ocorrer em quase 100% dos casos. Assim sendo, esta anomalia pode ser interpretada como fissuração local ou geral, de modo a conseguir distinguir os seus níveis de gravidade. Existem algumas designações como “Conceção inadequada”³ e “Deficiente”, que se pretende que também incluam a situação da inexistência (devido a erro de projeto) seja do próprio elemento ou elementos adjacentes necessários ao bom desempenho do elemento, tal como se pretende que abranja os casos de incorreta execução e atos

³ Nesta fase, o termo “conceção” é encarado de forma a abarcar a fase de projeto e execução.

de vandalismo. Tem-se o exemplo da anomalia “Conceção inadequada de tubos de queda” que procura englobar tanto a possibilidade da “não existência” de tubos de queda como a ausência de ralos na emboadura (seja devido a erro de projeto, execução ou vandalismo), como a incorreta execução do próprio tubo.

O presente sistema classificativo não pretende abranger coberturas ajardinadas, tipo *deck*, coberturas com inclinação zero, ou elementos como a camada de proteção / revestimentos e estrutura resistente pois existem trabalhos que já abordam estas temáticas, nomeadamente, o trabalho de Silvestre (2005) e Neto (2008) no âmbito dos revestimentos.

Como resultado de todas estas considerações, tem-se dois grupos distintos: o primeiro engloba as anomalias de carácter geral, isto é, que podem ocorrer tanto em superfície corrente como em pontos singulares ou no sistema de drenagem; no segundo grupo, inserem-se as anomalias que podem apenas ocorrer em locais específicos, seja em pontos singulares como no sistema de drenagem. O conjunto destes dois grupos perfaz um total de 20 anomalias. O Quadro 3.1 apresenta a síntese de anomalias que teve em conta todos estes critérios, enquanto o Quadro 3.2 apresenta a relação entre anomalias e os locais onde podem ocorrer.

Após apresentação do sistema de classificação de anomalias, apresenta-se, de seguida, uma descrição detalhada das mesmas.

Quadro 3.1 - Classificação de anomalias em coberturas em terraço proposta

| Anomalias de carácter geral | |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| A-G1 desgaste superficial | A-G7 ausência / posicionamento inadequado de camada |
| A-G2 fratura / rotura | A-G8 acumulação de detritos |
| A-G3 descolamento / arrancamento | A-G9 deficiências de inclinação / empoçamento |
| A-G4 formação de pregas / empolamento | A-G10 colonização biológica |
| A-G5 fissuração | A-G11 corrosão |
| A-G6 perfuração | A-G12 manchas de humidade de condensação / infiltração |
| Anomalias em pontos singulares | |
| A-S1 conceção inadequada de juntas de dilatação | A-S5 conceção inadequada de juntas de sobreposição |
| A-S2 conceção inadequada de tubos de queda | A-S6 fixações deficientes |
| A-S3 conceção inadequada de tubos ladrão | A-S7 capeamento deficiente |
| A-S4 conceção inadequada de caleiras | A-S8 remates deficientes |

3.3 Caracterização das anomalias

3.3.1 Desgaste superficial

A designação desta anomalia pretende abranger os casos de desgaste superficial, de envelhecimento / deterioração e de oxidação das camadas da cobertura.

Relativamente ao envelhecimento das camadas, o aparecimento deste fenómeno está intrinsecamente associado à elevada sensibilidade aos agentes de envelhecimento natural que se processam em função do tempo, das condições de exposição, das variações de temperatura e alternância entre o estado seco e húmido (adaptado de Gomes, 1968).

A localização geográfica da cobertura tem forte impacto no envelhecimento que as camadas desta sofrem. Frank (2002) apresenta um estudo concretizado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration's* (NOAA's), em 1997, em 13 estados dos Estados Unidos da América, que corrobora a afirmação anterior. Neste estudo, demonstra-se que as membranas de PVC estão sujeitas a diferentes índices de radiação ultravioleta, conforme a localização, o que condiciona a evolução do processo de envelhecimento.

Quadro 3.2 - Relação entre as anomalias e os locais onde podem ocorrer

| | Superfície interior | Camada de forma | Isolamento térmico | Impermeabilização | Camada de des-soldarização | Junta de dilatação | Junta de sobreposição | Remates | Tubos de queda | Caleiras | Peças de capeamento e de fixação dos rufos |
|-------|---------------------|-----------------|--------------------|-------------------|----------------------------|--------------------|-----------------------|---------|----------------|-----------------|--------------------------------------------|
| A-G1 | | | X | X | | X | X | X | | X | |
| A-G2 | | | X | X | | X | X | X | | X | |
| A-G3 | | | X | X | | | X | X | | X | |
| A-G4 | | | | X | | | X | X | | X | |
| A-G5 | X | | X | X | | X | X | X | | X | |
| A-G6 | | | X | X | | | | X | | X | |
| A-G7 | | | X | X | X | | | | | | |
| A-G8 | | | | X | | | | | X | X | |
| A-G9 | | X | | | | | | | | X | X |
| A-G10 | | | | X | | X | | X | | X | |
| A-G11 | | | | | | | | | X ² | X ^{*1} | X |
| A-G12 | X | | X | X | | X | X | X | X | X | |
| A-S1 | | | | | | X | | | | X | |
| A-S2 | | | | | | | | | X | | |
| A-S3 | | | | | | | | | X | | |
| A-S4 | | | | | | | | | | X | |
| A-S5 | | | | | | | X | | | | |
| A-S6 | | | X | | | | X | X | | | X |
| A-S7 | | | | | | | | | | | X |
| A-S8 | | | | | | X | X | X | X | X | |

*¹ Caso a caleira seja metálica.*² Nos ralos de embocadura.

Este estudo conclui ainda que, nos estados do Norte, o envelhecimento destas membranas é mais lento do que nos estados do Sul, havendo por isso a necessidade de a escolha adequada do material consoante a localização e exposição à radiação ultravioleta. O Quadro 3.3 apresenta os índices de exposição à radiação ultravioleta atribuídos a cada local consoante o mês do ano. Como se pode observar, o caso do Arizona é mais crítico em termos de exposição e envelhecimento e, como tal, o material a utilizar na membrana de impermeabilização terá de ser selecionado de forma mais criteriosa, tendo em conta o grau de exposição.

Quadro 3.3 - Método de “fatorização” da radiação ultra violeta (Frank et al., 2005)

| | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Arizona | 3 | 4 | 6 | 7 | 9 | 10 | 10 | 9 | 7 | 5 | 3 | 2 |
| Minesota | 1 | 1 | 2 | 4 | 5 | 7 | 6 | 5 | 4 | 2 | 1 | 1 |

Os produtos de impermeabilização mais correntes têm componentes voláteis e cuja progressiva eliminação resulta no seu endurecimento, perda de plasticidade, retração e consequente fendilhação⁴ (Gomes, 1986). Com a fendilhação, podem surgir infiltrações o que, evidentemente, pode colocar em causa o desempenho do revestimento de impermeabilização. Por esta razão, é conveniente conferir aos revestimentos de impermeabilização adequada proteção contra o envelhecimento.

Esta proteção deve visar: a redução dos efeitos de choque térmico, a limitação ou o impedimento da ação fotoquímica da radiação solar e o impedimento dos efeitos mecânicos de desgaste ou perfuração (Gomes, 1968). Segundo Medeiros (1976), o fenómeno de envelhecimento / deterioração (Figura 3.5) está associado a fatores como, a má qualidade dos materiais utilizados, a utilização de produtos não compatíveis e a redução de peso e espessura do sistema.

⁴ Outro problema que surge nestes materiais é a oxidação que poderá colocar em causa o desempenho do revestimento de impermeabilização.

Relativamente às juntas de sobreposição e dilatação, o seu eventual desgaste pode conduzir a possíveis infiltrações como é possível observar nas Figuras 3.6 e 3.7.



Figura 3.5 - Membrana líquida de impermeabilização envelhecida devido à radiação solar



Figura 3.6 - Desgaste superficial da membrana de impermeabilização numa junta de sobreposição



Figura 3.7- Deterioração de junta de dilatação devido à exposição solar

3.3.2 Fratura / rotura

A designação “Fratura / rotura” entende-se como um caso extremo de fissuração e pode ocorrer tanto em zona corrente como em pontos singulares.

A ação do calor origina a perda de ductilidade⁵ da camada de impermeabilização, o que por sua vez, diminui a sua resistência face às ações impostas. A perda de ductilidade aplica-se igualmente ao sistema da cobertura que, com o avançar do tempo, vai perdendo capacidade de acomodar as deformações impostas pelo gradiente de temperatura e, por vezes, pela passagem de pessoas. A ação da radiação solar pode mesmo levar à rotura da membrana, através de um processo denominado “heat aging”⁶, ou seja, envelhecimento devido à ação da temperatura. Nas Figuras 3.8 e 3.9, pode-se observar a fratura / rotura de uma membrana de impermeabilização devido à ação da temperatura.



Figura 3.8 - Fratura / rotura da membrana de impermeabilização devido à ação da temperatura



Figura 3.9 - Fratura / rotura da membrana de impermeabilização devido à ação da temperatura

A Figura 3.10 ilustra um exemplo de fratura de um remate da impermeabilização devido à ação da temperatura, que provocou uma dilatação do revestimento e, conseqüentemente, a fratura da membrana de impermeabilização.

A *International Federation for the Roofing Trade* (IFD) (2008) acrescenta que o gradiente de temperatura

⁵ A ductilidade é a propriedade física dos materiais de suportar a deformação plástica, sob a ação de cargas, sem se romper ou fraturar.

⁶ Este processo pode ser acelerado se não houver compatibilidade química entre as camadas adjacentes. Por esta razão, existe, por vezes, a necessidade de adoção de uma barreira de separação química que impeça o contacto direto entre materiais incompatíveis quimicamente ou a migração de componentes entre eles.

registado entre a superfície interna e externa do sistema da cobertura, para além de afetar a camada de impermeabilização, pode ainda afetar as divisões subjacentes à cobertura e até mesmo a própria estrutura.

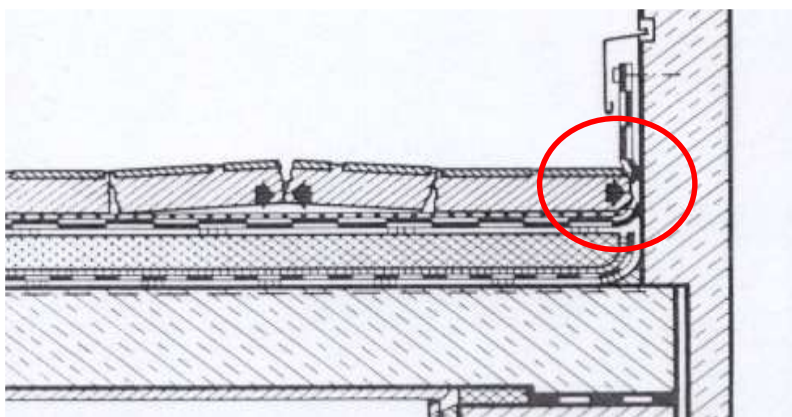


Figura 3.10 - Esmagamento e corte do remate da impermeabilização numa parede emergente da cobertura (Lopes, 2012)

Outro fator que pode intervir no aparecimento da fratura / rotura é o vento. A sua ação pode originar roturas parciais ou mesmo totais da camada de impermeabilização expondo o sistema da cobertura aos agentes atmosféricos. A ação cíclica do vento pode causar um problema de fadiga⁷ na impermeabilização, o que poderá resultar na sua rotura ou fissuração (Baskaran, 2005).

No caso das membranas fixas mecanicamente, se não se encontrarem convenientemente fixas ao seu suporte, as forças induzidas pela ação do vento geram tensões na membrana que podem originar roturas (Malpezzi e Gillenwater, 1993). Esta tensão induzida é transferida para os pontos de fixação que, por sua vez, a descarregam na laje (Cook, 1992). A situação anteriormente descrita encontra-se ilustrada na Figura 3.11.

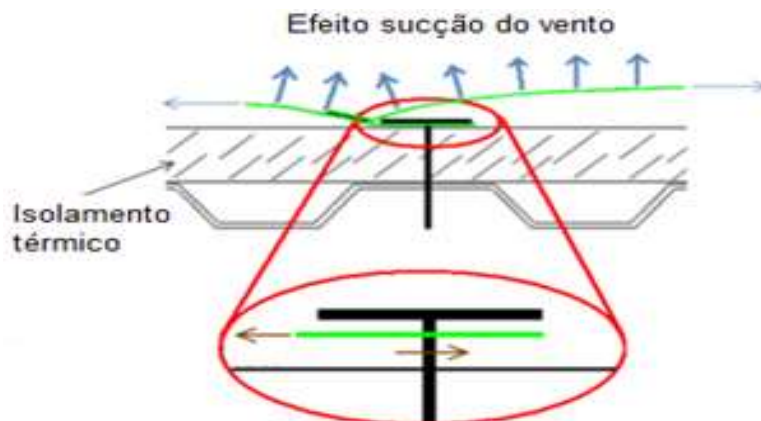


Figura 3.11 - Fixação da membrana de impermeabilização submetida a uma tensão de corte (adaptado de Dixon et al., 2010)

A fratura / rotura também se pode verificar noutros locais como nas juntas de dilatação e sobreposição, caleiras e isolamento térmico. As “fraturas de fadiga”⁸ nas caleiras (Figura 3.12) ocorrem frequentemente e a sua reparação é difícil, acabando, muitas das vezes, por comprometer a capacidade de drenagem da cobertura e promovendo infiltrações (Levine, 2008).

⁷ É o fenómeno de rotura progressiva de materiais sujeitos a ciclos repetidos de tensão ou deformação.

⁸ Tipicamente causado por insuficiente capacidade de acomodação de movimentos devidos às variações de temperatura, o que está intrinsecamente relacionado com a anomalia referida em 3.3.13 ou com a sua deficiente conceção.

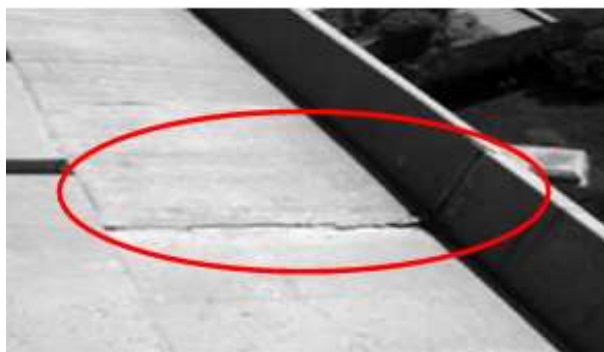


Figura 3.12 - Fratura na caleira (adaptado de Levine, 2008)

3.3.3 Descolamento / arrancamento

Caracteriza-se por uma separação total ou apenas parcial da membrana de impermeabilização, ou outra camada, seja na zona corrente ou em remates. O descolamento / arrancamento pode ocorrer nos remates, na membrana de impermeabilização e no isolamento térmico, quando exposto.

O descolamento / arrancamento ocorre quando se exerce uma pressão de sucção sobre a cobertura, tal como ilustra a Figura 3.13, e tem como principal causador o vento.

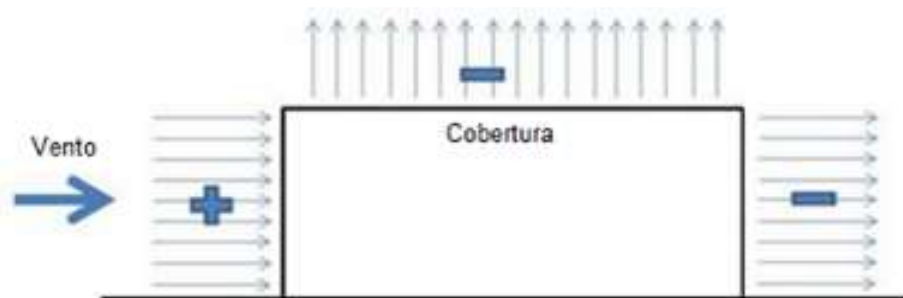


Figura 3.13 - Ação do vento (adaptado de Payne, 2012)

Este efeito de sucção pode causar danos tanto na impermeabilização como no conjunto do sistema de cobertura. No caso do descolamento da impermeabilização, os elementos subjacentes ficam expostos, por exemplo, à ação dos agentes atmosféricos, o que resulta na sua deterioração.

Tendo em conta o descrito, é fulcral que o sistema de cobertura esteja preparado para resistir aos efeitos causados pela ação do vento para que possa manter a sua estanquidade (Dixon e Prevatt, 2010).

A Figura 3.14 ilustra um exemplo de descolamento / arrancamento da membrana de impermeabilização ao passo que a Figura 3.15 ilustra um descolamento / arrancamento do isolamento térmico e de consequente exposição do sistema da cobertura.



Figura 3.14 - Descolamento / arrancamento da camada de impermeabilização da cobertura plana



Figura 3.15 - Arrancamento do isolamento térmico num sistema de cobertura "invertida"

Uma boa forma de minimizar os problemas de descolamento / arrancamento protagonizados pelo vento é o recurso a membranas de impermeabilização aderentes. Neste caso, o risco de descolamento é bastante reduzido, porque a resistência à ação perturbadora se regista ao nível da camada de isolamento e da solução adotada para a aderência⁹.

No entanto, mesmo após o processo de aderência estar completo, é necessário assegurar a sua correta execução ao longo do perímetro da cobertura e nos pontos singulares.

Testes realizados, por Baskaran (2005) em túneis de vento confirmam que o efeito de sucção varia no tempo e espaço e adquire maior relevância nas extremidades, o que destaca a importância do referido. A Figura 3.16 é representativa do efeito do vento nas extremidades de uma cobertura enquanto a Figura 3.17 apresenta a consequência desse efeito.

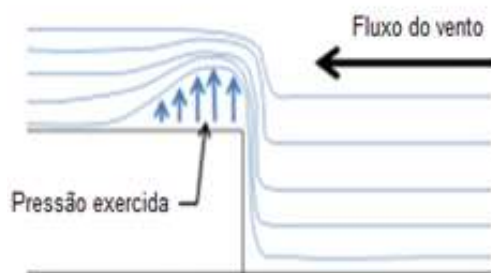


Figura 3.16 - Pressão do vento exercida no edifício (adaptado de Dixon et al., 2010)

Figura 3.17 - Descolamento / arrancamento da membrana na extremidade da cobertura

Um dos casos típicos de descolamento de remates é o que resulta da aplicação direta de betão, lajetas de sombreamento ou plástico, sobre a impermeabilização e respetivo isolamento térmico de elevada deformabilidade. Se ocorrer uma deformação no isolamento térmico, a impermeabilização irá acompanhar essa deformação por simpatia. Esta situação faz com que o revestimento do paramento vertical do elemento emergente fique sujeito a forças, no seu plano, que, sendo superiores às forças resistentes de aderência, dão origem ao descolamento em questão.

A retração¹⁰ ou a fluência, por serem ambas deformações impostas, acarretam movimentos ao nível da camada de impermeabilização e, consequentemente, ao nível dos remates, provocando igualmente o seu descolamento (Figura 3.18 e Figura 3.19).



Figura 3.18 - Exemplo da ocorrência de descolamento do sistema impermeabilizante



Figura 3.19 - Deslizamento dos remates devido à retração ou fluência

⁹ A aderência do sistema de impermeabilização ao suporte pode ser realizada por dois processos: através da utilização de produtos de ligação ou pela fusão de material da superfície interior do revestimento, com posterior aperto deste contra o suporte.

¹⁰ É de realçar que o processo referido, "heat aging", pode causar retração permanente da membrana de impermeabilização (Nelson, 1985).

O descolamento / arrancamento da membrana também pode ocorrer nas juntas de sobreposição, seja em zona corrente ou em pontos singulares (Figura 3.20 e Figura 3.21).



Figura 3.20 - Descolamento / arrancamento das juntas de sobreposição



Figura 3.21 - Descolamento da junta de sobreposição das membranas numa paltibanda

Outro fator chave para a ocorrência do descolamento, agora nas juntas, é a ação da temperatura. Para além do efeito da temperatura referido em 3.3.1., o calor excessivo também origina um amolecimento dos produtos utilizados na colagem das juntas que passam a apresentar um comportamento viscoso ao invés de elástico. Este facto, aliado aos ciclos de expansão-contracção, originados pelas amplitudes térmicas, pode provocar o descolamento das juntas. No caso de as membranas não serem reforçadas, esta situação tem tendência a agravar-se, pois as membranas não armadas apresentam índices mais elevados de deformação (adaptado de Brito et al., 2003).

3.3.4 Formação de pregas / empolamento

Esta anomalia consiste na separação da membrana de impermeabilização do seu suporte, traduzindo-se no aparecimento de pregas ou empolamentos.

Segundo Warseck (2003), o empolamento é o tipo de anomalia mais frequente mas também o menor dos problemas porque, embora este tipo de anomalia possa conduzir ao enfraquecimento das membranas e consequentemente a infiltrações, o sistema da cobertura não é danificado e continua intacto. Griffin (1982) define empolamento como “sobreelevações / bolsas, visíveis à superfície, do revestimento de impermeabilização”. O empolamento pode-se produzir em diferentes circunstâncias, mas só por um motivo: a água e a sua transformação em vapor (Trujillo e Caula, 2003). A origem desta anomalia encontra-se intrinsecamente associada à existência de vazios e acumulação de vapor de água entre as camadas do sistema de impermeabilização, ou entre este e o seu suporte (adaptado de Griffin e Dwight, 1982 e 1981). O empolamento ocorre quando existe humidade e um gás, neste caso vapor de água, encurralado entre as camadas da impermeabilização ou entre o sistema de impermeabilização e o seu suporte.

No primeiro caso, entre membranas de impermeabilização, a formação de empolamentos está relacionada, como referido, com a presença de ar e humidade presos. No entanto, segundo Paroli e Booth (1997), o processo de formação não se pode dar sem o fornecimento adicional de ar e humidade (Figura 3.22). A pressão existente no interior das bolsas é inferior¹¹ à de um sistema totalmente selado¹² e promovendo-se a entrada adicional de novo ar, o que estimula o aparecimento dos empolamentos. A formação dos empolamentos ocorre, portanto, quando o volume de ar absorvido para o interior da bolsa excede o volume de ar que é

¹¹ As zonas de baixa pressão atraem zonas de alta pressão, promovendo assim o movimento do ar.

¹² Caso o sistema estivesse totalmente selado, a formação da bolsa inicial continuaria a acontecer mas, como o sistema não permite a entrada de ar adicional, então o processo de formação de bolsa retrocederia (Paroli e Booth, 1997).

expelido pela mesma (adaptado de Paroli e Booth, 1997).

No segundo caso, o empolamento só ocorre caso a face inferior (suporte) seja pouco permeável (Figura 3.22). Nestas circunstâncias, a temperatura do vapor de água e ar contido na bolsa aumenta subitamente encorajando os mesmos a infiltrar-se no suporte da cobertura. Assim, a pressão na bolsa irá aumentar tal como o tamanho da mesma (adaptado de Murray et al., 1997).

Durante o dia, devido essencialmente à incidência da radiação solar e consequente aumento da temperatura, o gás expande, ocupando por isso mais espaço do que anteriormente. A expansão do gás cria uma pressão adicional na parte inferior do elemento que se encontra sobre o mesmo (membrana de impermeabilização), causando o empolamento (adaptado de Holmes et al, 2009).

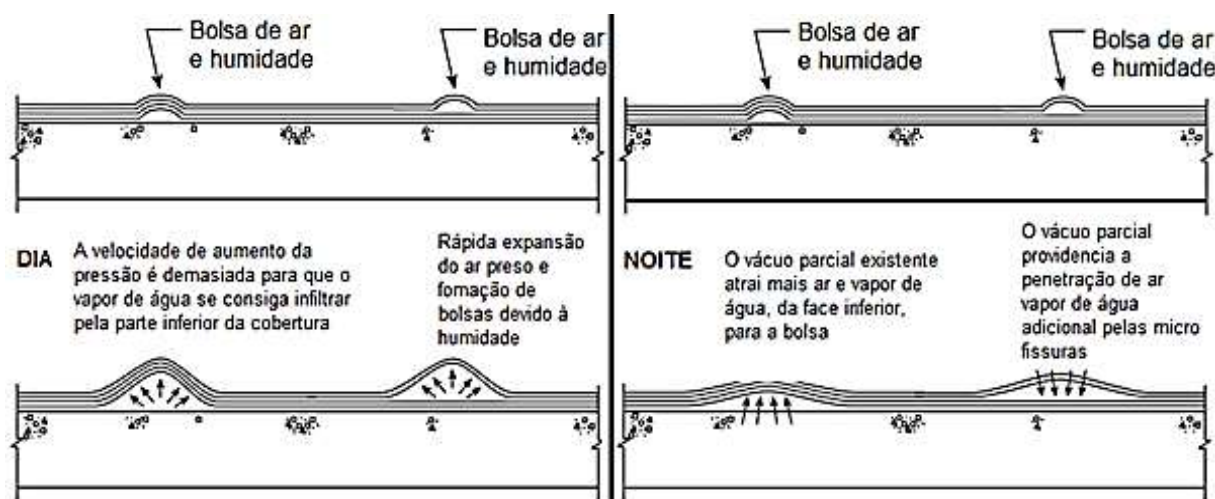


Figura 3.22 - Tipos de empolamentos (adaptado de Paroli e Booth, 1997)

A Figura 3.23 e a Figura 3.24 ilustram um empolamento causado pela presença de ar e umidade entre o suporte e as camadas de impermeabilização, na platibanda.



Figura 3.23 - Empolamento na membrana de impermeabilização devido à presença de ar e umidade no seu interior



Figura 3.24 - Empolamento da membrana de impermeabilização em zona corrente

O local onde ocorre esta formação de bolhas de ar torna-se mais suscetível à rotura, para além de que promove a acumulação de água nas suas imediações. Uma solução que evita esta anomalia é a adoção do sistema de “cobertura invertida”, onde a própria disposição do isolamento térmico protege a membrana de impermeabilização do gradiente térmico, o que evita o aumento de temperatura e consequente expansão do gás.

Relativamente à formação de pregas, alguns autores defendem que se inicia logo após a conclusão da instalação do sistema de cobertura, mas os proprietários só evidenciam preocupação sobre as mesmas quando estas se apresentam num estado mais avançado. Em superfície corrente (Figura 3.25), embora a formação de pregas não seja muito problemática, o aparecimento de pequenas pregas pode contribuir para um maior desgaste da membrana de impermeabilização (Warseck, 2003). Estas pregas irão, provavelmente, ser submetidas a um problema de fadiga e, conseqüentemente, sofrer uma rotura. Isto acontece porque, sendo uma anomalia que ocorre à superfície da cobertura, encontra-se mais exposta às ações exteriores, como a passagem de peões ou a ação de agentes atmosféricos que originam o desgaste da membrana.

Já relativamente ao aparecimento de pregas em pontos singulares, o problema adquire outra dimensão, nomeadamente nos remates junto da platibanda (Figura 3.26) ou em elementos emergentes. Uma prega neste local pode permitir a entrada de água no sistema de impermeabilização e o seu aparecimento está associado a movimentos diferenciais entre o perímetro e a estrutura da cobertura que geram pregas, num ângulo de aproximadamente 45° , na membrana de impermeabilização (Warseck, 2003).

A formação de pregas pode não só ocorrer nos remates e membrana de impermeabilização, como também em juntas de dilatação e sobreposição (Brotherson, 1961).



Figura 3.25 - Formação de prega em zona corrente



Figura 3.26 - Formação de pregas na platibanda

3.3.5 Fissuração

A anomalia “Fissuração” pretende englobar as fendas que se formam na membrana de impermeabilização, nas juntas, no isolamento térmico, nos remates e no paramento interior do teto (Figura 3.27 e Figura 3.28).



Figura 3.27 - Fissuração no paramento interior de balneários



Figura 3.28 - Fissuração no paramento interior de edifício escolar

Segundo Trujillo e Caula (2003), a manifestação desta anomalia deve-se a: movimentos estruturais; movimentos

de dilatação; movimentos e fissuração do suporte; soluções construtivas incorretas; falta de isolamento¹³; corrosão de encaves¹⁴. Para além disso, com o envelhecimento do sistema da cobertura regista-se um decréscimo da sua rigidez, tal como a ocorrência de retração dos materiais. Assim sendo, ações como as alterações climáticas, o impacto de cargas e deformações e movimentos diferenciais do próprio sistema podem provocar fissuras na membrana de impermeabilização (Figura 3.29 e Figura 3.30).



Figura 3.29 - Fissuração da membrana de impermeabilização



Figura 3.30 - Fissura localizada da membrana de impermeabilização

Gibson e Hollis (1991) referem um estudo realizado pelo departamento de comércio dos Estados Unidos da América, em 1960, que conclui que a dilatação dos materiais do sistema da cobertura, gerada pela ação da temperatura, deve ser tomada em consideração durante o período de vida útil do edifício, a fim de minimizar ou evitar a ocorrência desta anomalia. Todos os movimentos que a estrutura sofre, podem aparecer na cobertura na forma de fendas ou fissuras. Assentamentos diferenciais ou deformações estruturais manifestam-se nos muros e transmitem-se à superfície do terraço (Trujillo e Caula, 2003).

Relativamente aos movimentos do suporte, caso o sistema de impermeabilização seja aderido, a membrana de impermeabilização irá sofrer as mesmas solicitações do que o respetivo suporte.

Para evitar este problema, Potter (s.d.) sugere que o sistema de impermeabilização não deveria ser aderido a fim de não receber as deformações transmitidas pelas camadas adjacentes. Trujillo e Caula (2003) acrescentam que, para evitar a transmissão de esforços para a membrana, é conveniente assegurar que o sistema é elástico, aumentando a sua resistência com uma maior espessura, e incluindo armadura que admita um elevado alongamento¹⁵.

Também a circulação descuidada de pessoas, por exemplo em ações de manutenção, aliada à inexistência de percursos preferenciais definidos na cobertura, contribuem para a ocorrência desta anomalia. Sempre que se preveja a necessidade de visitas regulares às coberturas e a circulação esteja dificultada, dever-se-á estabelecer percursos sobre as coberturas (APICC, 1998).

A fissuração em juntas de dilatação está impreterivelmente associado à própria execução das juntas comprometendo por isso o seu próprio desempenho. A junta tem como objetivo acomodar os movimentos que se dão ao nível do sistema da cobertura sendo que, se a execução da mesma não for adequada, pode originar fissuras profundas ou ao nível da camada de superfície.

Uma solução que permite minimizar este problema da fissuração é a adoção de disposições construtivas que permitam o livre movimento do revestimento de impermeabilização nas zonas mais críticas (juntas entre placas

¹³ Abordado em 3.3.7.

¹⁴ Elementos como estendais de roupa e estruturas para suportar antenas entre outros. Abordado em 3.3.11.

¹⁵ Estas armaduras podem ser, por exemplo, armaduras de polietileno que podem chegar a alongamentos superiores a 250% (Trujillo e Caula, 2003).

de certos tipos de isolantes)¹⁶ (Lopes, 2010).

Em relação à fissuração da camada de impermeabilização nos remates, poder-se-á aplicar bandas de des-soldarização, nas juntas de sobreposição em questão, tal como proteção térmica da platibanda recorrendo a material isolante (Lopes, 2010).

A fissuração é uma anomalia que também se pode registar ao nível das caleiras (nomeadamente na membrana de impermeabilização), originando muitas das vezes o aparecimento de humidades quer no interior ou exterior do edifício, caso a caleira seja periférica. O aparecimento de fissuras na membrana de impermeabilização das caleiras encontra-se relacionado com o envelhecimento mais acentuado dos materiais que a constituem ou com disposições construtivas insatisfatórias (Lopes, 2010).

3.3.6 Perfuração

Caracteriza-se por orifícios por ações perfurantes, tanto em zona corrente como em pontos singulares. Esta anomalia é característica das impermeabilizações e é com alguma frequência que está associada à origem de infiltrações colocando, por isso, em causa a integridade e o desempenho do sistema de cobertura. Defendendo esta perspetiva, Potter (s.d.) afirma que qualquer tipo de perfuração na membrana de impermeabilização é uma possível origem de infiltrações. Já um estudo, realizado por Schild (1978), na Alemanha, revela que 20% das infiltrações de água pela cobertura são devidas a perfurações localizadas no respetivo revestimento de impermeabilização. Não obstante, algumas perfurações são úteis, por exemplo, para a instalação de iluminação no terraço, construção de chaminés ou na instalação de tubos de ventilação (Potter, 1991). Para a maioria dos proprietários de coberturas em terraço, a perfuração é uma anomalia recorrente sendo que a sua ocorrência está muitas das vezes associada à passagem de peões. Uma das soluções que deve ser utilizada para a resolução deste problema é a criação de passagens próprias para peões ou a adoção de membranas “extra” na impermeabilização (Hariman, 2004). Lopes (2010) refere que o aparecimento das perfurações se pode dever essencialmente a ações de natureza estática ou dinâmica, sendo as primeiras de caráter permanente e as segundas de curta duração (Figura 3.31 e Figura 3.32). Estas ações, responsáveis pelo aparecimento da anomalia, serão abordadas em 3.4.1.1.



Figura 3.31 - Perfuração devida a ação permanente



Figura 3.32 - Perfuração devido a ação dinâmica, na platibanda

3.3.7 Ausência / posicionamento inadequado de camada

Traduz-se na ausência de camada afeto ao sistema da cobertura escolhido ou no seu posicionamento incorreto. Estando a laje da cobertura submetida a variações térmicas muito mais relevantes do que as lajes de pisos intermédios, se não houver isolamento térmico ou se for insuficiente, estas variações, podem originar movimentos do

¹⁶ De forma a solucionar este problema, adota-se, sobre aquelas juntas, bandas de dessoldarização.

último elemento exposto e, para além disso, graves problemas tanto no sistema de impermeabilização como na estrutura do edifício. Segundo Trujillo e Caula (2003), os movimentos originados pelos ciclos de calor / frio podem ocasionar fissuras, por esforço de corte, nos muros em que apoia a laje (Figura 3.33 e Figura 3.34).

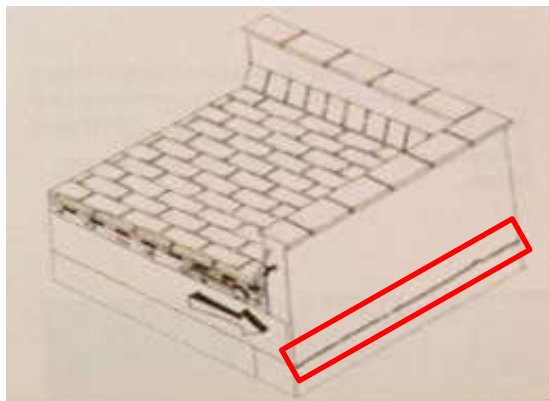


Figura 3.33 - Fissuras devido ao movimento da laje, sem isolamento (Trujillo e Caula, 2003)



Figura 3.34 - Fissuração do murete devido ao movimento da laje (cobertura sem isolamento térmico)

Outro exemplo típico desta anomalia é a ausência da camada de dessolidarização entre a camada de proteção pesada rígida e o revestimento de impermeabilização. Neste caso, os movimentos da camada de proteção, originados pela variação de temperatura, são transmitidos diretamente à impermeabilização, cuja capacidade de deformação vem a ser excedida (Lopes, 2010).

O fenómeno da retração, originado pela variação de temperatura, pode conduzir, no limite, a rasgamentos da membrana de impermeabilização. Neste caso, o rasgamento dá-se quando a membrana não possui capacidade para absorver as deformações impostas pela variação de temperatura, nomeadamente nas zonas de fixação onde irão surgir tensões (adaptado de Nelson, 1985).

3.3.8 Acumulação de detritos

A acumulação de detritos diversos junto às embocaduras dos tubos de queda (Figura 3.35) e a obstrução das próprias embocaduras (Figura 3.36) são fatores que dificultam a descarga normal das águas pluviais da cobertura, fazendo assim com que ela se acumule e permaneça, durante períodos mais ou menos prolongados (Figura 3.37) (adaptado de Brito et al., 2008). Os detritos referidos são, normalmente, folhas de árvore, grânulo da camada de proteção, poeiras mas também pássaros mortos.



Figura 3.35 - Acumulação de detritos junto a embocadura de tubo de queda



Figura 3.36 - Acumulação de granulado de proteção



Figura 3.37 - Acumulação de folhagem em caleira

3.3.9 Deficiências de inclinação / empoçamento

Consiste em pendentes que não respeitam os valores mínimos ou máximos estabelecidos.

Segundo Pierce (2004), o empoçamento é um problema transversal a todas as coberturas planas e, se este for convenientemente eliminado, a cobertura terá uma maior probabilidade de alcançar o desempenho esperado. Segundo Lawson (2012), citando NRCA (*National Roofing Contractors Association*) (1989), a acumulação de água é, possivelmente, o fator que mais influência tem na deterioração do sistema da cobertura. A NRCA (1989) destaca consequências do empoçamento como: a deterioração camada superficial do sistema de cobertura e da membrana de impermeabilização; a acumulação de detritos (Figura 3.38); a colonização biológica; a deformação ou colapso do sistema de cobertura (Figura 3.39).

O empoçamento ocorre quando uma determinada quantidade de água permanece cerca de 48 horas estagnada, embora outros autores considerem um limite de 24 horas (Kirby, 1997). Esta água parada pode ter origem na água da chuva ou no descongelamento de neve. Para evitar o empoçamento, a NRCA (2011) e Wilen (2012) defendem o conceito de “drenagem positiva”. Este conceito atinge-se quando o sistema de drenagem escoar toda a água existente na cobertura em 48 horas. Segundo Kirby (1997), com o emprego deste conceito, promove-se o bom desempenho da cobertura, evitando ao mesmo tempo inúmeras anomalias.

Relativamente à conformação inadequada das pendentes nas zonas circundantes das embocaduras, é um fator que dificulta o escoamento das águas pluviais, facilitando a acumulação de água e detritos e, consequentemente, a proliferação de musgos (adaptado de Brito et al., 2008). Nas Figuras 3.40 e 3.41 podem observar-se exemplos de empoçamento.



Figura 3.38 - Acumulação de detritos devido ao empoçamento



Figura 3.39 - Colapso da cobertura devido a carga excessiva provocada pela acumulação de água da chuva (Patterson, 2010)



Figura 3.40 - Empoçamento em cobertura “invertida” devido a inclinação insuficiente



Figura 3.41 - Empoçamento devido a inclinação insuficiente

3.3.10 Colonização biológica

Traduz-se na acumulação de microrganismos e plantas de maior porte (vegetação parasitária) que se desenvolvem na presença de humidade, tendo a radiação solar como fonte de energia. Esta anomalia encontra-se relacionada com a frequência, tipo e quantidade de precipitação, estando estes fatores subjugados à localização geográfica. Toda a água proveniente da precipitação deve ser escoada da superfície da cobertura, sendo que, quanto mais tempo permanecer acumulada na cobertura, mais favorece a colonização biológica. Durante a precipitação a cobertura atua, temporariamente, como um reservatório, acumulando o excesso de água que não tem capacidade para escoar instantaneamente. Este excesso acumulado favorece a concentração de lodo, musgo e o aparecimento de vegetação. As Figuras 3.42 e 3.43 apresentam exemplos de colonização biológica, e suas consequências, em coberturas em terraço.

Esta anomalia está igualmente relacionada com a acumulação de detritos, na medida em que, ao ser dificultado o escoamento das águas, são criadas as condições de humidade necessárias ao desenvolvimento dos microrganismos biológicos e de vegetação de maior porte, tendo sempre por base a radiação solar como fonte de energia. A colonização biológica pode ocorrer em qualquer local da cobertura, seja em zona corrente ou em pontos singulares e, por essa razão, as inspeções e a manutenção adquirem especial relevância.



Figura 3.42 - Ataque do isolamento térmico por ação da vegetação



Figura 3.43 - Presença de musgos, por baixo da proteção pesada, numa cobertura em terraço

3.3.11 Corrosão

Esta designação pretende abordar a corrosão que ocorre em peças metálicas utilizadas nas caleiras, nas peças de fixação dos rufos (Figura 3.44), nos próprios rufos (Figura 3.45) e nos ralos de embocadura (Figura 3.46). A par de outras anomalias, esta também se encontra frequentemente associada à presença de humidade.



Figura 3.44 - Corrosão em peça de fixação do rufo



Figura 3.45 - Corrosão do rufo anexo à platibanda



Figura 3.46 - Corrosão do ralo de embocadura

Segundo alguns autores, o material do isolamento térmico pode ter influência no processo de corrosão dos elementos de fixação mecânica. Embora não tenha um impacto significativo, certos isolamentos térmicos aceleram o processo de corrosão destes elementos (Carlson et al., s.d.). Segundo Wagoner (s.d.), se se quiser evitar esta anomalia, é aconselhável ter em conta a compatibilidade química entre o isolamento térmico adotado e os elementos de fixação. Quanto aos rufos e ralos de embocadura, uma solução encontrada para ultrapassar, de forma definitiva, esta anomalia é a adoção de materiais não metálicos, com base no plástico.

3.3.12 Manchas de humidade de condensação / infiltração

Esta designação pretende englobar os fenómenos de condensação, infiltração e termoforese que, sendo diferentes na sua essência, se manifestam apresentando semelhante aspeto visual.

As infiltrações apenas ocorrem quando existe uma falha no sistema de impermeabilização da cobertura, enquanto, no caso das condensações, por exemplo no paramento interior do último piso, basta que se registre um diferencial de temperatura entre a superfície interior (fria) e o ar ambiente, no caso da condensação superficial. A condensação interna ocorre, por exemplo, quando os próprios elementos construtivos já contêm humidade. O aparecimento deste tipo de condensação pode ser favorecido, em certas condições, pela insuficiência de isolamentos térmicos (Alves, 2013).

As condensações ocorrem principalmente no inverno, tanto em pontos singulares como em zona corrente das coberturas, essencialmente, devido a duas razões: isolamento térmico deficiente e ausência de barreira pára-vapor (Cóias, 2006).

A Figura 3.47 apresenta um esquema representativo do sentido de escoamento do vapor de água de acordo com as estações do ano. A transferência de calor por convecção¹⁷ ditará sempre o local onde podem surgir condensações. Como se pode perceber através da interpretação da figura, é mais provável haver condensações na superfície exterior da cobertura durante o inverno do que durante o verão, onde haverá mais possibilidade de surgirem condensações no paramento interior do teto.

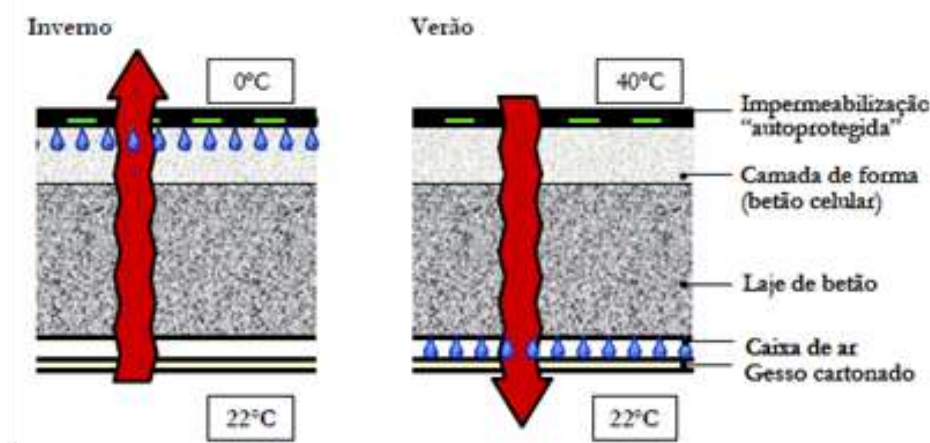


Figura 3.47 - Transferência do fluxo do vapor de água (Sousa, 2004)

As manchas de humidade / condensação podem ocorrer tanto na superfície da cobertura (Figura 3.48) como na superfície inferior da sua laje, ou seja, no paramento do teto de uma habitação do último piso (Figura 3.39). A presença de condensações no interior das habitações aumenta a probabilidade de proliferação de microrganismos, causa manchas e pode danificar o mobiliário existente.

¹⁷ Transferência de calor de um local mais quente para outro local mais frio.



Figura 3.48 - Manchas de humidade na superfície da cobertura



Figura 3.49 - Condensação no paramento interior do teto

Por outro lado, exteriormente, as condensações contribuem para a degradação das coberturas, traduzindo-se na redução das características de isolamento térmico (devido ao seu humedecimento) e ainda na acumulação de água nos elementos de suporte dos revestimentos da cobertura (Aguiar et al., 1997). Segundo Hedlin (1979), a existência de humidade no isolamento térmico introduz dois problemas: a possível redução drástica em termos de resistência térmica e a potencial destruição do material de isolamento. Caso existam materiais de origem orgânica na cobertura, o seu contacto com a água poderá acelerar a sua destruição (Powell, 1971) (Epstein, 1977).

Aquando da execução do sistema de cobertura, é importante ter em conta o seguinte aspeto: uma vez colocada a membrana de impermeabilização, torna-se muito difícil a remoção da humidade presente. A principal solução para este tipo de problema é a drenagem através de orifícios realizados na superfície de betão (na laje) de forma a evitar a acumulação de humidade, ou seja, atuando na base da prevenção recorrendo à ventilação. Com a ausência de ventilação, promove-se o aumento da humidade, tal como as variações internas e externas de temperatura, resultando em condensações (Edwards, 1965).

A existência de heterogeneidades acentuadas na espessura de isolante térmico nas várias zonas (zona estrutural e corrente) que compõem a envolvente dos edifícios dá origem a uma diferenciação nas temperaturas superficiais, motivando a ocorrência de fenómenos de termoforese (Figura 3.50) (adaptado de Jorne, 2012).



Figura 3.50 - Fenómeno de termoforese no paramento interior de um teto, sem isolamento térmico. Fonte: <http://www.buellinspections.com/page/73/>

Este fenómeno atinge uma maior magnitude nos casos onde existe uma maior diferença de temperaturas superficiais entre as várias zonas da envolvente exterior (Jorne, 2012). Neste caso, tem-se uma solução em vigotas pré-fabricadas. A solução construtiva da laje também é importante para o tipo de manchas.

3.3.13 Conceção inadequada de juntas de dilatação

As juntas de dilatação em coberturas planas são as mais difíceis de executar pois, para além de estarem sujeitas a fatores que contribuem para a sua degradação como o envelhecimento¹⁸, a ação do vento e a eventual circulação de pessoas, têm que se manter estanques.

É recomendável que as juntas de dilatação tenham a capacidade de acomodar as deformações impostas pela ação da temperatura. É, igualmente, aconselhável que as mesmas sejam dispostas ao longo de toda a superfície da membrana, criando assim áreas menores de membrana, o que facilitará a acomodação de deformações (adaptado de Cullen e Edwards, 1965). Segundo Henshell (1985), as juntas de dilatação procuram reduzir as tensões, permitindo o movimento da própria membrana, transmitidas à membrana de impermeabilização por agentes como: a temperatura; o vento; a corrosão de elementos da cobertura; a humidade; as vibrações.

Nas coberturas acessíveis¹⁹, é de evitar o remate das juntas de dilatação na zona de superfície corrente (Figura 3.51) dada a sua exposição à circulação de pessoas e ações mecânicas.

Nesta situação, é preferível a adoção de juntas de dilatação com remate sobreelevado (Figura 3.52), ficando menos sujeito às referidas ações.

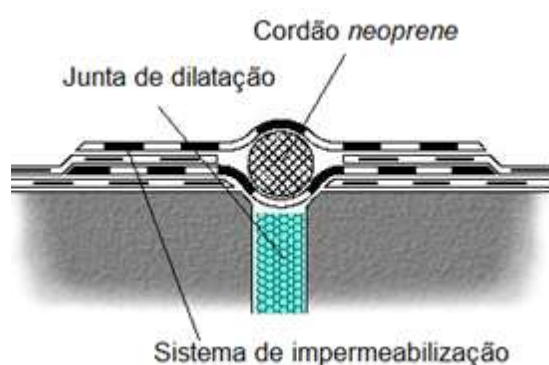


Figura 3.51 - Pormenorização da junta de dilatação numa cobertura não acessível (adaptado de Imperialum, 2015)



Figura 3.52 - Junta de dilatação, bem executada, com remate sobreelevado

Outra situação a evitar é a realização da camada de proteção sem juntas coincidentes com as juntas de dilatação, pois levaria facilmente à fissuração²⁰ dos remates em questão.

É boa prática a adoção de medidas construtivas que dessolidarizem esse remate para cada lado da junta²¹. Com isto, pretende-se minimizar as tensões instaladas de modo a que sejam inferiores aos limites admissíveis do material que o constitui (adaptado de Lopes, 2010).

Ao executar-se uma junta de dilatação numa cobertura, deve-se evitar que esteja perto de caleiras (Figura 3.53) ou de sumidouros²². A camada de forma deve ser construída de forma a afastar as águas da junta e, sempre que possível, os topos da junta devem ser elevados tal como os bordos da junta devem ser chanfrados de forma a não ferir as membranas²³.

Deve existir uma banda maior do que o espaço da junta a unir os dois lados da mesma²⁴ e a membrana principal deve ser interrompida sobre os bordos da banda; para evitar o enrugamento ou colagem das membranas deve ser colocado um cordão de *neoprene*. Sobre o cordão, é colocada a segunda banda apenas aderida pelos

¹⁸ Promovido pela ação dos agentes atmosféricos e radiação ultra violeta.

¹⁹ No caso das coberturas acessíveis, a proteção das juntas é feita através de um rebaixamento da laje na zona da junta.

²⁰ A fissuração iria ser originada pelo movimento dos dois corpos que definem a junta.

²¹ Deve dispor-se de um empanque (fundo de junta), comprimido na junta, que sirva de suporte ao remate em questão.

²² É para estes locais que a água se dirige e não é recomendável que a junta esteja exposta a água acumulada.

²³ As armaduras das telas devem ser de fibra de vidro.

²⁴ Geralmente adota-se uma faixa de 15 cm para cada lado da junta (Lopes, 2010).

bordos que deve ter no mínimo 30 cm (Figura 3.54) (Mascarenhas, 2008). A inexistência de juntas de dilatação pode, ainda, ter como consequência, por exemplo, a fissuração ou fratura / rotura das caleiras (Levine, 2008).



Figura 3.53 - Junta de dilatação executada sobre uma caleira

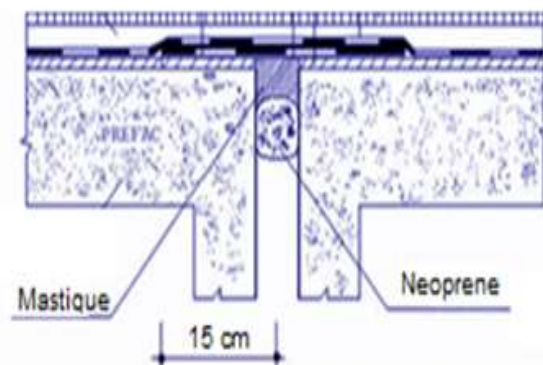


Figura 3.54 - Pormenor de junta de dilatação. Fonte: adaptado <http://www.colegiodearquitetos.com.br/dicionario/2009/02/o-que-e-junta-de-dilatacao>

3.3.14 Conceção inadequada de tubos de queda

Esta designação, para além de abranger situações como a inexistência dos próprios tubos de queda, engloba igualmente a inexistência de ralos nas embocaduras. A inexistência de ralos nas embocaduras dos tubos de queda contribui substancialmente para a obstrução desses tubos, a qual é agravada quando a secção de escoamento é insuficiente. Os tubos de queda são pontos onde se esgota a água existente na cobertura e encontram-se no final das caleiras, nos pontos de menor cota da cobertura, podendo ser classificados como interiores ou exteriores.

Nas imediações das embocaduras, é necessário o rebaixamento da camada de forma para evitar sobrelevações do respetivo revestimento de impermeabilização, tal como será abordado em 3.4.2.2.

A Figura 3.55 e a Figura 3.56 exemplificam bons exemplos de execução e, em oposição, a Figura 3.57 e a Figura 3.58 são exemplos de deficientes concepções do tubo de queda.

Na Figura 3.57, não existiu um rebaixamento da zona adjacente ao tubo de queda ao passo que na Figura 3.58 pode constatar-se a inexistência de ralo de pinha na embocadura do tubo de queda.



Figura 3.55 - Pormenorização da impermeabilização do tubo de queda (cobertura invertida) (adaptado Imperialum, 2015)

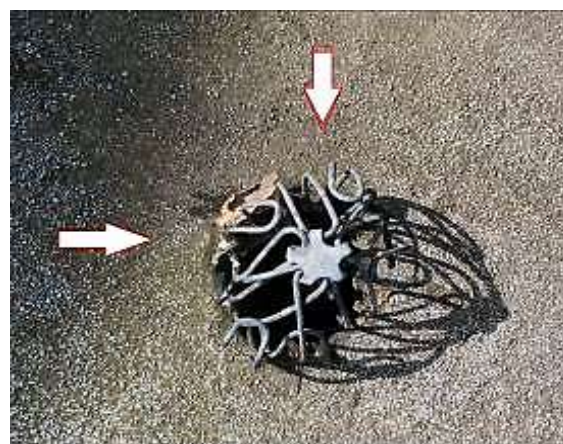


Figura 3.56 - Tubo de queda bem executado, com ralo de pinha e rebaixamento da zona adjacente



Figura 3.57 - Deficiente execução de um tubo de queda para escoamento de água pluviais



Figura 3.58 - Inexistência de ralo de pinha

3.3.15 Conceção inadequada de tubos ladrão

Caracteriza-se pela ausência ou conceção inadequada de tubos ladrão.

Os tubos ladrão funcionam como um sistema de drenagem “secundário”, evacuando para o exterior a água acumulada que os tubos de queda não têm capacidade para escoar. Esta função adquire particular relevância no caso de chuvas intensas porque, ao funcionar como um sistema de drenagem “secundário”, evita a acumulação de água por tempo excessivo.

Em projetos onde o tipo de cobertura adotada não permita a existência de descarregadores de superfície (caleiras), opta-se pela execução de orifícios de descarga, munidos de um tubo (tubo-ladrão), que têm exatamente a mesma função dos anteriores. Deverão ser feitos à média de um por tubo de queda e ter preferencialmente secção retangular. Quando tal não for possível, o tubo-ladrão (secção $\geq 50 \text{ cm}^2$) associado a um grupo de tubos de queda deverá ter secção igual ou maior a uma vez e meia a maior das secções do conjunto considerado (Pedroso, 2011). Esta solução apesar de ser muito recorrente nas varandas, onde se aplica um tubo-ladrão no orifício de descarga, não é obrigatória.

Para cumprir o seu desígnio, os tubos ladrão encontram-se a uma cota superior ao tubo de queda, para que, quando este se encontre entupido ou o nível de água esteja muito elevado, o tubo ladrão escoe diretamente a água da cobertura para o exterior. As Figuras 3.59 e 3.60 apresentam dois exemplos de corretas conceções do tubo ladrão, segundo a norma francesa NF P 84-204-1, DTU 43.1.

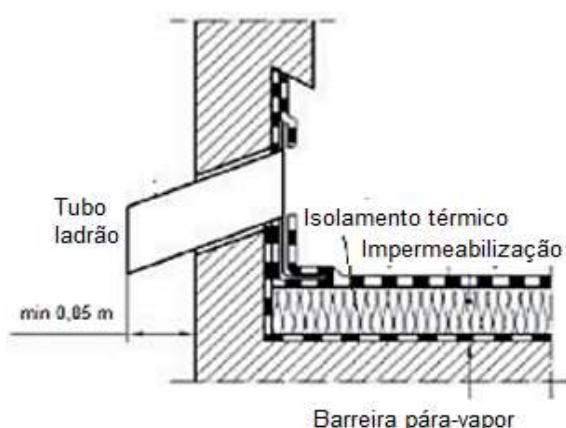


Figura 3.59 - Esquema de execução de tubo ladrão. Fonte: Adaptado <http://www.comptoirdeletancheite.fr/>, DTU 43.1



Figura 3.60 - Conceção deficiente do tubo ladrão

Segundo a *American Society of Plumbing Engineers* (ASPE), citando Levine (2008), os tubos ladrão devem

ser dispostos de forma similar aos elementos principais de drenagem, mas possibilitando ao proprietário observar se o sistema de drenagem principal se encontra ou não bloqueado. No caso da Figura 5.60 constata-se a deficiente colocação do tubo ladrão, não sendo construído a uma altura superior ao tubo de queda. Por sua vez, a Figura 3.61 ilustra um exemplo de boa execução de um tubo ladrão, segundo a norma francesa já enunciada, num sistema de cobertura com proteção pesada. Neste caso, é importante ter em atenção a altura do tubo ladrão para que os elementos da proteção pesada não entupam o mesmo.

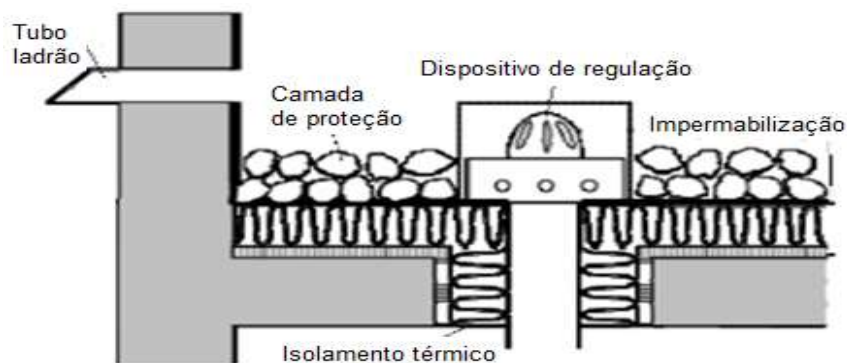


Figura 3.61 - Esquema de execução de tubo ladrão Fonte: Adaptado <http://www.economie.grandlyon.com/>, ficha n.º 8

3.3.16 Conceção inadequada de juntas de sobreposição

O comportamento das juntas de sobreposição entre membranas de impermeabilização é determinante no desempenho dos sistemas de camada única fixados mecanicamente. Daí a importância do conhecimento dos fatores que condicionam e influenciam o comportamento das juntas de sobreposição, para evitar, tanto quanto possível, as anomalias que possam comprometer o bom desempenho do sistema de impermeabilização. Para executar corretamente juntas de sobreposição, deve-se seguir algumas regras (Gonçalves et al., 2007):

- ✓ quanto às ligações entre membranas, através de juntas de sobreposição, estas devem ser concebidas e executadas de forma a impedirem toda e qualquer influência nefasta para o bom funcionamento do revestimento de impermeabilização;
- ✓ o sistema de ligação das membranas, o método de execução e os limites da sua utilização devem estar de acordo com as indicações do fabricante do revestimento;
- ✓ as juntas devem ser realizadas por mão-de-obra competente e bem familiarizada com os produtos e os métodos propostos para a sua aplicação;
- ✓ o suporte deve ser compatível, do ponto de vista químico, mecânico e higrométrico, com o revestimento de impermeabilização; o estado da sua superfície quanto a irregularidades deve permitir obter juntas contínuas e planas; a Figura 3.62 ilustra uma ligação deficiente entre membranas de impermeabilização com diferentes idades;



Figura 3.62 - Ligação deficiente entre diferentes membranas de impermeabilização

- ✓ as superfícies das membranas a ligar devem estar limpas no momento da execução das juntas; a existência de poeiras ou de quaisquer produtos estranhos pode limitar tanto o poder adesivo dos produtos de colagem como a ligação por fusão do material das camadas superficiais das membranas;
- ✓ a realização das juntas deve ocorrer sob condições de temperatura e humidade que não ultrapassem os limites estabelecidos para o bom funcionamento do sistema;
- ✓ a largura da junta de sobreposição das membranas deve ser sensivelmente constante e nunca inferior ao mínimo prescrito para o seu correto desempenho. A Figura 3.63 exemplifica uma conceção inadequada da junta de sobreposição (largura insuficiente) que originou infiltrações.

Nos sistemas bi-capa, Lopes (2010) acrescenta que as boas práticas recomendam que as juntas devem ser perfeitamente soldadas, por fusão, com a chama de maçarico. Durante a soldadura, deverá compactar-se a zona da junta, para garantir uma colagem eficiente entre as membranas. Após a soldadura, dever-se-á passar uma espátula aquecida nos bordos da mesma nas sobreposições longitudinais e transversais respeitando um mínimo de 8 a 10 cm, respetivamente.



Figura 3.63 - Conceção inadequada das juntas de sobreposição (largura insuficiente)

3.3.17 Conceção inadequada de caleiras

Segundo Lopes (2010), as principais anomalias que se pode encontrar nestes elementos, quando realizados com revestimentos de impermeabilização, são:

- ✓ descolamento de juntas de sobreposição das respetivas membranas;
- ✓ fissuração dessas membranas.

No entanto, estas anomalias já são abordadas em 3.3.3 e 3.3.5, respetivamente.

Relativamente ao posicionamento das caleiras, podem situar-se junto ao murete, na zona central do edifício ou no beirado. A Figura 3.64 apresenta um bom exemplo de conceção de uma caleira junto ao murete.

Na Figura 3.65, por outro lado, ilustra-se a deficiente conceção de caleiras, simultaneamente, com deficiente inclinação e insuficiente secção de escoamento (representada a azul). Por sua vez, a Figura 3.66 representa um bom exemplo de conceção de caleira, com inclinação, disposição e secção de escoamento adequada. A caleira apresentada com a cor vermelha descarrega as águas pluviais na caleira apresentada com a cor amarela, que deve apresentar uma maior capacidade de drenagem (maior secção).

Nas caleiras, tratando-se de uma zona da cobertura onde se regista uma maior concentração de água, é importante o sentido de aplicação das membranas. Assim, a aplicação das membranas deve ser feita de modo a que a membrana adjacente fique com o seu bordo protegido pela membrana sobrejacente, conforme se ilustra na Figura 3.67. Desta forma, evita-se a acumulação de água junto ao bordo da membrana inferior e a exposição do bordo da junta à ação da água, que no seu movimento potenciaria o descolamento desse

bordo. Assim sendo, as membranas devem ser colocadas na caleira no sentido contrário à pendente, ou seja, de baixo para cima (Lopes, 2010).

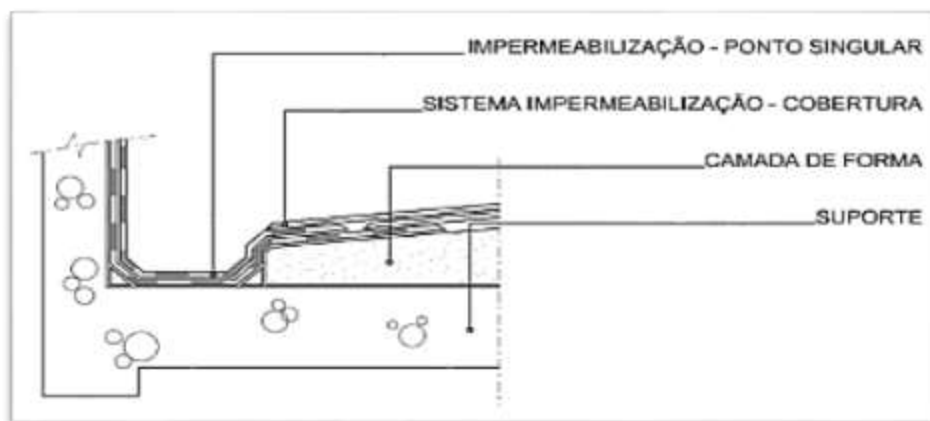


Figura 3.64 - Disposição correta dos elementos constituintes do sistema de drenagem (Imperialum, 2015)



Figura 3.65 – Conceção inadequada de caleiras com insuficiente inclinação e secção de escoamento



Figura 3.66 - Conceção adequada de caleira



Figura 3.67 - Disposição da junta de sobreposição entre membranas em caleiras (Lopes, 2010)

3.3.18 Fixações deficientes

A inexistência de fixações, nomeadamente no isolamento térmico e remates, propicia fenómenos de arrancamento / descolamento²⁵, referidos em 3.3.3.

A ausência de fixações também se pode traduzir em fenómenos de deslizamento por fluência de remates, conduzindo posteriormente ao descolamento. Esta situação ocorre, particularmente, em remates com altura elevada onde se recomenda a utilização de fixações.

Relativamente às fixações pontuais, em zona corrente de coberturas em terraço, são geralmente colocadas na faixa correspondente às juntas de sobreposição das membranas. Nestas fixações, cada peça de fixação dispõe de um elemento (em geral, uma anilha de chapa de aço ou de plástico) de distribuição da força de aperto, o qual é portanto localizado em cada ponto da fixação. A Figura 3.68 representa esquematicamente o processo de

²⁵ Do isolamento térmico, por exemplo.

fixação mecânica pontual de um sistema de impermeabilização de camada única em que a fixação pontual é recoberta pela membrana sobrejacente da junta de sobreposição (adaptado de Gonçalves, 2004).

As fixações pontuais podem ainda ser colocadas fora da zona das juntas de sobreposição, devendo nesse caso ser recobertas por outras membranas. Na fixação mecânica ao suporte, é vital a sua quantidade e qualidade de execução (adaptado de Alves, 2013). A Figura 3.69 mostra um exemplo de uma má execução da fixação mecânica do isolamento térmico, que acabou por perfurar a membrana de impermeabilização. Por sua vez, a Figura 3.70 apresenta um bom exemplo de conceção / execução da fixação mecânica.

É de realçar que existem vários processos de fixação descritos por Gonçalves (2004). As Figuras 3.71 e 3.72 ilustram bons exemplos de conceção / execução adequada de fixação mecânica do rufo.

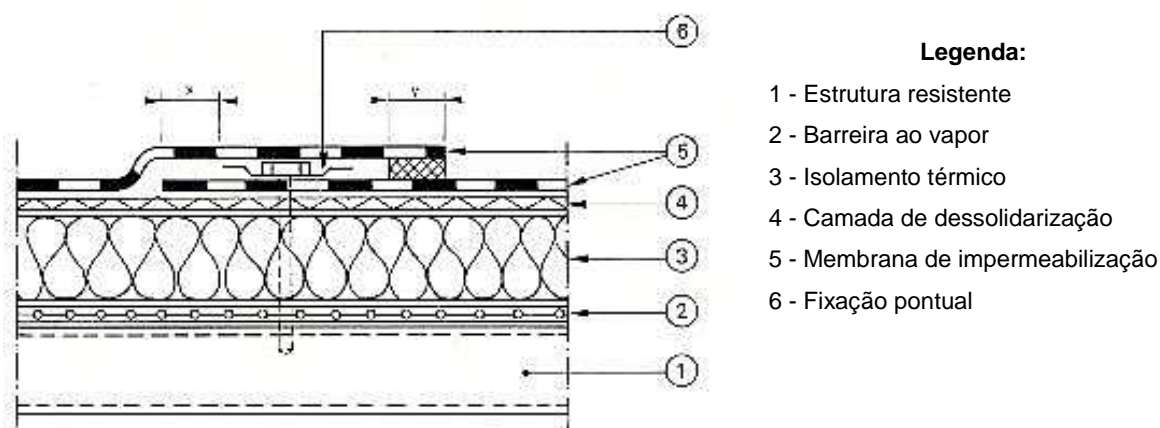


Figura 3.68 - Fixação mecânica pontual na junta de sobreposição de um sistema de impermeabilização de camada única (adaptado UEAtc, 1991)



Figura 3.69 - Fixação inadequada. Fonte: <https://www.danosa.com>



Figura 3.70 – Fixação mecânica bem concebida / executada



Figura 3.71 - Concepção / execução correta da fixação mecânica do rufo

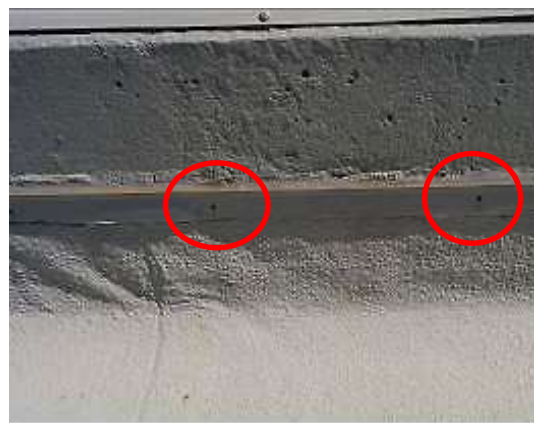


Figura 3.72 - Exemplo de concepção / execução adequada da fixação mecânica do rufo

3.3.19 Capeamento deficiente

Esta designação procura abranger os casos da inexistência e todas as deficiências associadas ao capeamento (inclinação insuficiente, material inadequado, ausência de pingadeira) tal como ilustram as Figuras 3.73 e 3.74, respetivamente. A Figura 3.75 apresenta um bom exemplo de conceção / execução de capeamento.

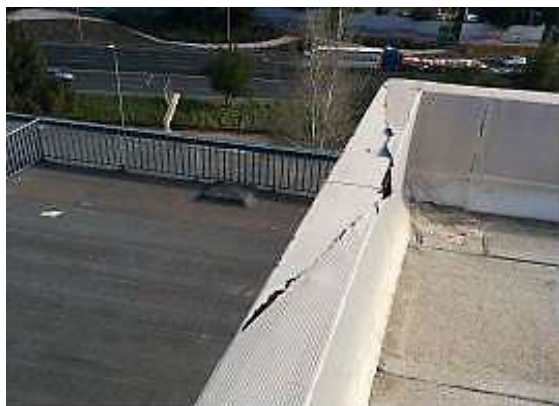


Figura 3.73 - Inexistência de capeamento nas platibandas



Figura 3.74 - Capeamento deficiente sobre o paramento horizontal de murete periférico



Figura 3.75 - Conceção / execução adequada de capeamento

A ausência de capeamento adequado, especialmente quando a platibanda é constituída por alvenaria de tijolo furado ou por blocos de betão, pode originar a penetração de água para o tardo do revestimento de impermeabilização e para as camadas subjacentes. Nas platibandas, quando o remate da impermeabilização não cobre o seu paramento horizontal, verifica-se que, devido à fissuração existente no revestimento de impermeabilização, a estanqueidade à água desse paramento é francamente comprometida (Lopes, 2010). O topo do murete deve ser por isso protegido para que a humidade não penetre para o interior do edifício ou da cobertura. A própria configuração do topo das platibandas deve ter uma configuração tal que afaste as águas da chuva, não permitindo a acumulação de água nesse mesmo local.

O capeamento deve possuir saliência, de 3 cm no mínimo, em relação ao plano vertical tal como deve possuir uma pingadeira²⁶ na face inferior, tal como se pode ver na Figura 3.76. Quando a platibanda é de pequena altura, a membrana de impermeabilização deve rematar no topo do murete, por baixo do capeamento (Gama, 2005). A inclinação do capeamento deve ser superior a 5% e direccionada para o interior da cobertura de forma a evitar manchas e escorrência para a fachada (Figura 3.77) (Gama, 2005).

A execução das juntas²⁷, no capeamento, deve ser reduzida e cuidadosa pois pode tornar-se um caminho

²⁶ Esta deve possuir uma geometria adequada para evitar que a água proveniente da face superior possa atingir a superfície da fachada.

²⁷ Deverão ser preenchidas com mastique ou cordões de empanque.

preferencial para as águas da chuva, podendo originar manchas de sujidade na fachada. As juntas de dilatação²⁸ devem possuir uma configuração que lhe garanta estanqueidade e simultaneamente movimento (Mascarenhas, 2008). Na Figura 3.78, apresenta-se um exemplo de juntas no capeamento.

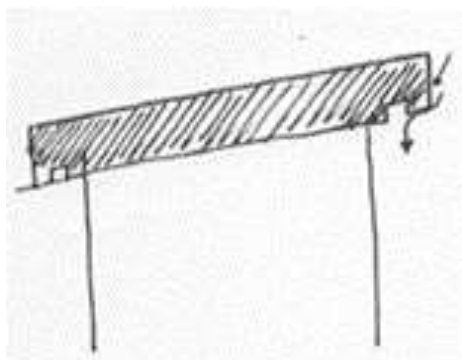


Figura 3.76 - Pingadeira (Mascarenhas, 2008)

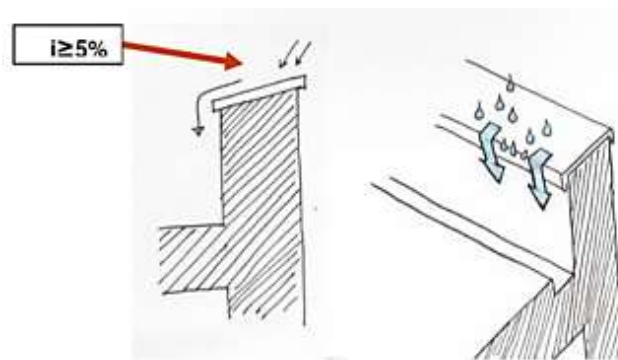


Figura 3.77 - Inclinação do capeamento para o interior da cobertura (Gama, 2005)



Figura 3.78 - Junta de dilatação no capeamento

3.3.20 Remates deficientes

A designação desta anomalia pretende cobrir todas as anomalias relacionadas com a ausência / insuficiência de remates, em locais como soleira de portas, elementos emergentes, juntas e platibandas.

Relativamente à tipologia de remates, segundo LNEC (2002), podem identificar-se duas tipologias: remate protegido (Figura 3.79) e remate não protegido (Figura 3.80).

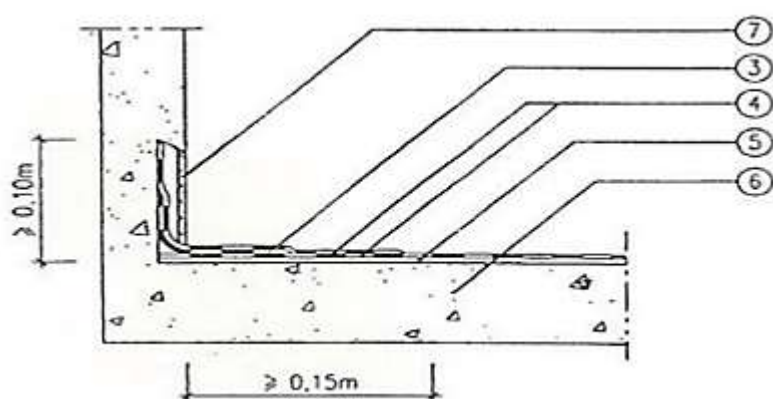
Tal como refere Pierce (2004), citado na revista *Buildings Magazine*, “95% das infiltrações ocorrem devido à execução deficiente de remates”.

Os remates devem possuir uma altura suficiente de forma a prevenir o deslizamento e a formação de um “caminho” que leve a água a infiltrar-se no interior do edifício. Segundo a legislação francesa, no caso dos revestimentos betuminosos tradicionais, a altura máxima permitida para o remate da impermeabilização é de 1,0 m contra um paramento de alvenaria (CSTB, 1986). Na generalidade dos revestimentos de impermeabilização, é comum adotar-se um valor mínimo de 0,15 m (Lopes, 2010) (Figura 3.81).

Quando o remate termina debaixo de um rufo e o seu topo não se encontra bem selado, então o remate não é protegido da ação da água, promovendo-se assim a infiltração da mesma pela parte superior do rufo podendo posteriormente migrar para o interior do edifício. Nestas zonas, é frequente ocorrer o deslocamento dos remates que podem ser limitados se a base do remate, através de uma disposição construtiva, for desolidarizada, na extensão adequada, com o revestimento corrente de impermeabilização. Para este efeito,

²⁸ No caso de capeamentos metálicos, devem ser espaçadas de 8 m (Mascarenhas, 2008).

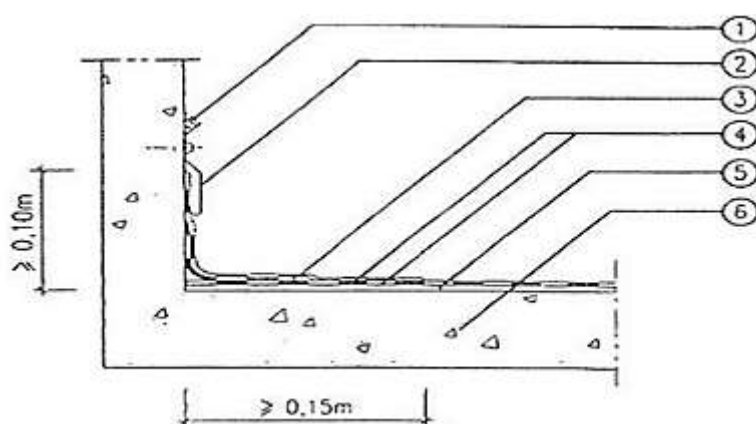
pode recorrer-se a um cordão flexível colocado no perímetro da tubagem (Lopes, 2010).



Legenda:

- 3 - Banda de reforço (membrana Polyester R50V ou equivalente)
- 4 - Membrana Polyester R50V
- 5 - Primário betuminoso
- 6 - Suporte de betão
- 7 - Reboco armado

Figura 3.79 - Remate protegido (adaptado de LNEC, 2012)



Legenda:

- 1 - Mastique
- 2 - Rufo metálico
- 3 - Banda de reforço (membrana Polyester R50V ou equivalente)
- 4 - Membrana Polyester R50V
- 5 - Primário betuminoso
- 6 - Suporte de betão

Figura 3.80 - Remate não protegido (adaptado de LNEC, 2012)

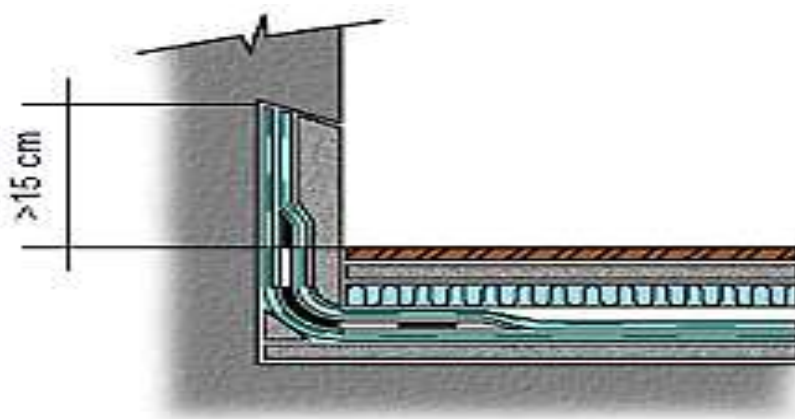


Figura 3.81 - Pormenorização de remate em platibanda (adaptado de Imperialum, 2015)

Relativamente ao topo superior do remate, este pode ser protegido através da sua cintagem e aperto nessa zona, complementada com um vedante apropriado. É comum verificar que o remate não satisfaz a proteção adequada do bordo superior (Figuras 3.82 e 3.83), com produtos de colagem, peças e produtos tradicionais, tais como rufos e mastiques, ou introduzindo o remate no elemento emergente, interessando não só toda a espessura do reboco, mas penetrando pela alvenaria dentro (LNEC, 2002).



Figura 3.82 - Ausência de proteção adequada do bordo superior do remate



Figura 3.83 - Infiltrações em chaminés devido à ausência de remates

Para além da importância da adequada execução dos remates na periferia da cobertura, existe outro ponto crítico, debaixo das soleiras das portas. Segundo Lopes (2010), é um ponto crítico, simplesmente porque os remates não são nem executados nem projetados convenientemente. A Figura 3.84 apresenta uma boa conceção de um remate por baixo da soleira da porta, tal como é referido em 3.4.2.2.

Nos elementos emergentes como platibandas, chaminés e tubos emergentes também é essencial a correta execução de remates. Na Figura 3.85, exemplifica-se a adequada pormenorização de um remate junto de um tubo emergente.

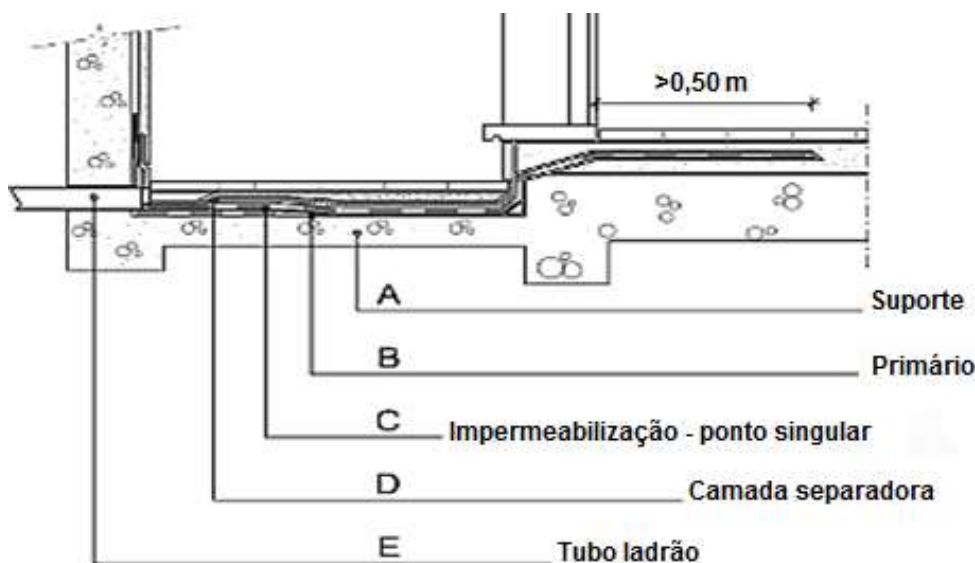


Figura 3.84 - Remate bem executado na soleira de uma porta (Imperialum, 2015)

3.4 Classificação das causas associadas às anomalias

Uma anomalia numa cobertura em terraço pode não ser apenas resultado de um erro específico de projeto, de fabrico ou de execução, mas sim de um conjunto de fatores relacionados, quer com a conceção, quer com condições particulares de fabrico, quer ainda com os processos e cuidados de aplicação dos vários materiais. Evidentemente que em algumas situações alguns destes casos assumem especial relevância face aos outros (Lopes, 2010).

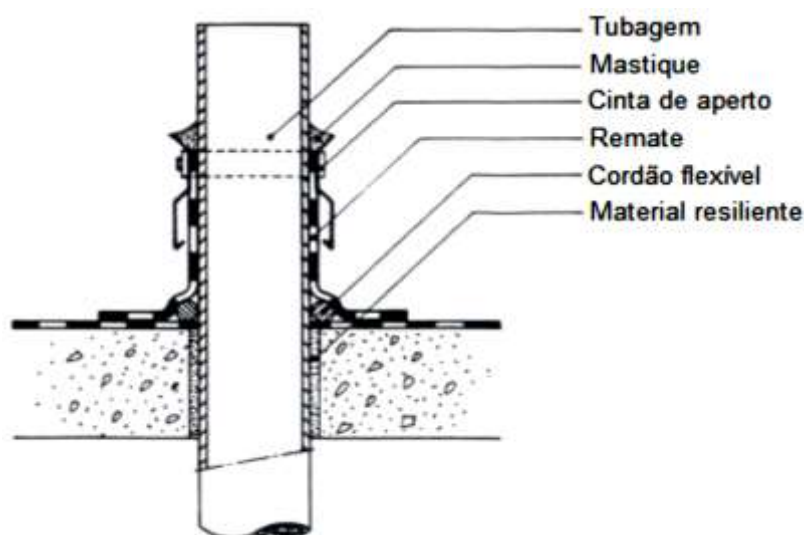


Figura 3.85 - Pormenor construtivo de remate em tubagem emergente (Lopes, 1994)

Para melhor compreensão da importância desta temática e apesar da carência de dados estatísticos referentes à patologia da construção em Portugal, optou-se por apresentar dois raros exemplos de estudos realizados em solo nacional. Em todos os domínios da patologia da construção, e em particular nas coberturas planas, tais estudos teriam o maior interesse, quer em termos preventivos, quer corretivos, e poderiam constituir um valioso contributo para uma estratégia de melhoria da qualidade da construção.

Referindo um estudo realizado por Silva e Gonçalves (2001) (Figura 3.86), em Portugal, a mais de duas centenas de casos de obras, pode observar-se que mais de 80% dos defeitos se ficam a dever a erros de conceção e aplicação.

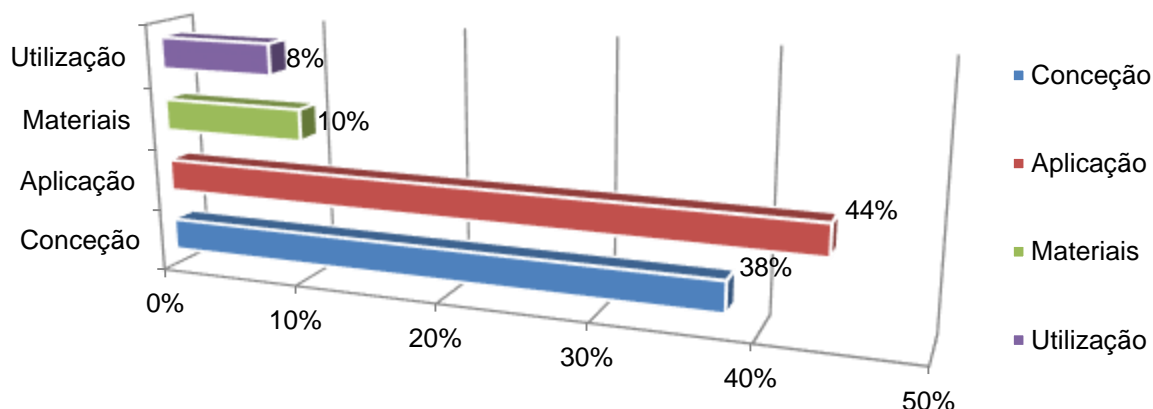


Figura 3.86 - Distribuição das anomalias em coberturas em terraço (adaptado Silva e Gonçalves, 2001)

Um estudo mais recente, elaborado por Gonçalves (2007) (Figura 3.87), acerca da origem das causas de anomalias na construção no território nacional, apresenta resultados semelhantes ao anterior. Os erros de execução e de projeto continuam a ser as principais causas de anomalias, com quase 60% das incidências; no entanto, regista-se um aumento do impacte das ações ambientais (19%) e falhas de manutenção (14%). Não é objetivo da presente dissertação a descrição exaustiva das causas, mas sim o estabelecimento de uma tipificação segundo grupos de responsabilidade de origem humana ou natural, das mesmas causas. Por outro lado, algumas destas causas já foram abordadas de forma sintética em 3.3, o que é inevitável para a compreensão da essência das anomalias.

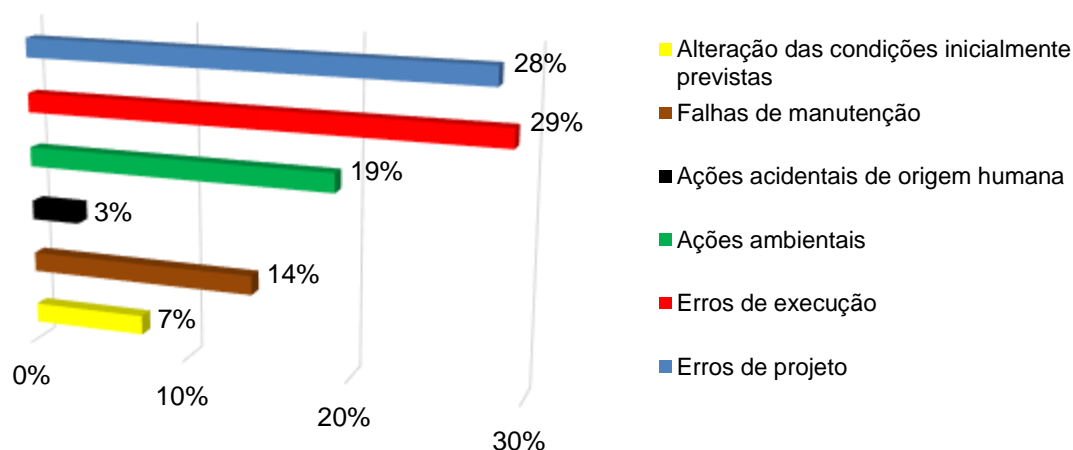


Figura 3.87 - Ocorrência das causas das anomalias (Gonçalves, 2007)

O universo de possíveis causas aqui apresentado é dependente do universo de anomalias previamente definido. Como tal, apenas se considerou as possíveis causas para as anomalias definidas anteriormente. Assim sendo, possíveis causas de anomalias referentes, por exemplo, à camada de proteção não serão abordadas. É conveniente esclarecer que a designação “Conceção / pormenorização” procura incluir, também, as situações de ausência, por exemplo, na causa “Conceção / pormenorização deficiente das camadas a aplicar” inclui-se a situação de ausência de isolamento térmico, barreira pára-vapor ou da camada de dessolidarização. Existem ainda causas que não podem ser identificadas numa eventual inspeção, como no caso do deficiente armazenamento de materiais ou aplicação em condições térmicas desfavoráveis, mas no entanto não deixam de ser possíveis causas para algumas das anomalias já identificadas.

Nesta fase, para a organização das possíveis causas, considerou-se os seguintes subgrupos: Erros de projeto / conceção - Erros de execução - Ações ambientais - Erros de manutenção / utilização - Ações de origem mecânica exterior. Estes subgrupos enquadram-se em dois grupos principais: o grupo das causas diretas, que engloba as ações ambientais e as ações mecânicas exteriores, e o grupo das causas indiretas, que engloba os erros de projeto /conceção, de execução e de utilização / manutenção.

Como resultado deste processo, dispõe-se no Quadro 3.4 o sistema de classificação proposto de possíveis causas para todo o universo de anomalias já apresentado em 3.2.

3.4.1 Causas diretas

As causas diretas ou próximas são aquelas que originam de forma imediata as anomalias, incluindo as ações de origem mecânica e as ações ambientais.

As ações ambientais englobam fatores como a exposição solar, a temperatura, o próprio envelhecimento / desgaste da membrana de impermeabilização, o efeito da ação da água e os movimentos diferenciais associados aos ciclos de humificação-secagem (causados pela ação da temperatura).

Por outro lado, as ações de origem mecânica exterior englobam um conjunto de causas variadas de difícil previsão, tal como, a queda de objetos, a colocação de equipamentos diversos, a utilização de carrinhos de mão, a montagem de andaimes ou cavaletes e ainda o vandalismo.

Quadro 3.4 - Sistema de classificação de possíveis causas proposto

| Erros de projeto / concepção | |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| C-P1 | concepção / pormenorização deficiente das camadas a aplicar |
| C-P2 | concepção / pormenorização deficiente das juntas de dilatação |
| C-P3 | concepção / pormenorização deficiente dos elementos emergentes |
| C-P4 | concepção / pormenorização deficiente de tubos de queda |
| C-P5 | concepção / pormenorização deficiente de caleiras |
| C-P6 | concepção / pormenorização deficiente das juntas sobreposição |
| C-P7 | concepção / pormenorização deficiente da pendente |
| C-P8 | concepção / pormenorização deficiente de remates e elementos de proteção associados |
| C-P9 | concepção / pormenorização deficiente de tubos ladrão |
| C-P10 | dificuldade / impossibilidade de acesso aos paramentos |
| C-P11 | escolha inadequada dos materiais |
| Erros de execução | |
| C-E1 | falta de qualidade na mão-de-obra |
| C-E2 | aplicação em tempo húmido / chuvoso (condições térmicas desfavoráveis) |
| C-E3 | deficiente armazenamento / transporte de materiais |
| C-E4 | deficiente execução de remates e elementos de proteção associados |
| C-E5 | deficiente execução da junta de dilatação |
| C-E6 | deficiente execução da junta de sobreposição |
| C-E7 | deficiente execução dos tubos de quedas |
| C-E8 | deficiente execução de caleiras |
| C-E9 | deficiente execução dos tubos ladrão |
| C-E10 | deficiente fixação mecânica |
| C-E11 | deficiente colocação da membrana de impermeabilização |
| C-E12 | pendente deficiente |
| Ações ambientais | |
| C-A1 | vento |
| C-A2 | radiação ultravioleta / solar |
| C-A3 | humidade |
| C-A4 | presença prolongada de água / chuva |
| C-A5 | vegetação |
| C-A6 | envelhecimento natural |
| C-A7 | ciclos de humedificação-secagem |
| Erros de manutenção / utilização | |
| C-U1 | falta de limpeza de detritos na zona corrente |
| C-U2 | acumulação / obstrução de detritos nas embocaduras dos tubos de queda ou caleiras |
| C-U3 | ausência / inadequada inspeção |
| C-U4 | alteração do tipo de utilização da cobertura |
| C-U5 | vandalismo |
| Ações de origem mecânica exterior | |
| C-M1 | cargas pontuais de natureza dinâmica (curta duração) |
| C-M2 | cargas pontuais de natureza estática (permanentes) |

3.4.1.1 Ações de origem mecânica exterior

As ações de origem mecânica caracterizam-se pela sua imprevisibilidade podendo agrupar duas situações:

- ✓ cargas pontuais de natureza dinâmica (curta duração), que engloba situações como a queda de objetos diversos, seja durante a execução do revestimento de impermeabilização ou posteriormente, a montagem de andaimes ou circulação de carrinhos de mão);
- ✓ cargas pontuais de natureza estática (longa duração), como a colocação sobre o sistema de cobertura de suportes de instalações ou equipamentos diversos (suportes de depósitos de água, extratores de ar, de ventiladores, estendais, antenas e barbecues).

Estas ações encontram-se associadas ao aparecimento de perfurações, fissurações ou desgaste do revestimento das impermeabilizações.

As principais causas do aparecimento das perfurações na superfície corrente do revestimento de impermeabilizações de uma cobertura são essencialmente a falta de medidas de proteção adequadas desse revestimento durante a realização de trabalhos sobre a cobertura, posteriormente à aplicação desse revestimento, mas também a ação de cargas pontuais de natureza dinâmica e estática (adaptado de Brito et al., 2003). As Figuras 3.88 e 3.89 ilustram trabalhos realizados e armazenamento de material após a conclusão do sistema de cobertura, respetivamente.



Figura 3.88 - Instalação de aparelho após execução da cobertura



Figura 3.89 - Instalação de equipamento após a execução da cobertura.

A perfuração do revestimento pode resultar também da ação, sobre o revestimento de impermeabilização, das peças de fixação mecânica que são utilizadas nos sistemas colocados com esta técnica e das que são usadas na fixação do suporte isolante à estrutura resistente (Brito et al., 2003). Segundo um levantamento realizado por Fichtencweig (1982), em França, e publicado pelo *Institut Technique du Bâtiment et des travaux Publics* (ITBTP), 80% das anomalias devidas a perfurações do revestimento de impermeabilização resultam de cargas de natureza dinâmica. Segundo Lopes (2010), em Portugal, presume-se que a perfuração do revestimento de impermeabilização ocorre com alguma frequência, dado que é usual realizar-se trabalhos na cobertura, posteriormente à aplicação do respetivo revestimento de impermeabilização, sem se tomar as devidas medidas de proteção do mesmo.

A origem das fissurações está também relacionada com causas não-estruturais que consistem, sobretudo em ações de choque provocadas pela colocação de equipamento sobre as coberturas, quedas de granizo, queda de objetos pesados e ferramentas (Aguiar et al., 1997).

3.4.1.2 Ações ambientais

Como é evidente, devido à posição que ocupa num edifício, a cobertura encontra-se altamente exposta à ação da temperatura e agentes atmosféricos. Esta exposição, tendo em conta a ação da temperatura, provoca a perda progressiva de matérias voláteis que constituem as membranas betuminosas. A redução destas matérias voláteis provoca um endurecimento da membrana e, por conseguinte, um aumento da possibilidade de retração terminando numa eventual fissuração. A ação do calor aliada à ação da radiação ultravioleta provoca um agravamento desta situação (Lopes, 2010). Por outro lado, o calor excessivo também origina um amolecimento dos produtos utilizados na colagem das juntas que passam a apresentar um comportamento viscoso ao invés de elástico. Este facto, como explicado em 3.3.3., pode provocar o descolamento das juntas.

A ação prolongada do ar quente sobre as membranas pode afetar as suas armaduras, especialmente as mais sensíveis à ação do calor, pondo assim em risco o funcionamento adequado da respetiva junta de sobreposição. A ação do calor tem também influencia a estabilidade dimensional de muitas membranas, podendo as respetivas

deformações por retração põem em risco as ligações entre si (Brito et al., 2003). A redução da ductilidade nas membranas de PVC, devida à perda do plastificante por ação da temperatura, associada geralmente a fenômenos de estabilidade dimensional dessas membranas, pode dar origem à formação de pregas neste tipo de membranas. O enrugamento das membranas de borracha butílica, quando aplicadas em sistemas aderentes sem qualquer tipo de proteção pesada, é um fenômeno que pode também verificar-se (Brito et al., 2003). No entanto, a ação da radiação ultra violeta e do calor pode ser mitigada recorrendo ao uso de proteção do revestimento de impermeabilização ou invertendo a posição da camada de isolamento térmico (cobertura invertida). Na Figura 3.90, é possível observar o menor impacto que estas ações ambientais têm em coberturas invertidas.

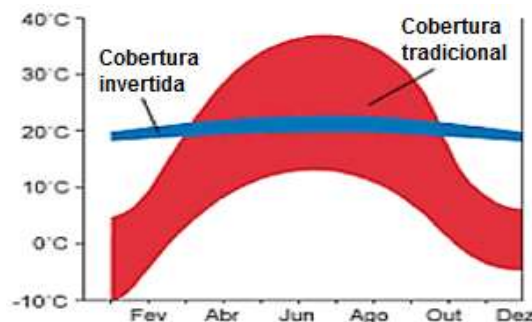


Figura 3.90 - Variação de temperatura em coberturas invertidas e tradicionais, em Portugal, ao longo do ano (LNEC, 1976)

As ações da temperatura e da radiação ultravioleta são geralmente as causas fundamentais para o aparecimento de fissuração ou fendilhação nos revestimentos de impermeabilização, dado que não só são os fatores naturais de envelhecimento do revestimento, mas também pelos movimentos que originam nas camadas da cobertura com reflexos no sistema de impermeabilização.

O vento é outro agente ambiental causador de anomalias. A sua ação é, em grande parte, responsável pelo arrancamento dos revestimentos de impermeabilização, como referido em 3.3.3. Quando se dá o caso de a proteção do revestimento de impermeabilização ser solta, o arrastamento destes elementos pode, eventualmente, deixar o revestimento exposto²⁸ e suscetível à ação do vento e/ou calor / radiação ultravioleta. Um eventual arrancamento deste pode ser evitado recorrendo a proteção com elementos suficientemente pesados ou a uma espessura razoável da respetiva camada impermeabilizante.

Quando se trata de acabamentos com proteção leve, o que obriga sempre a adotar sistemas de impermeabilização aderentes, semiaderentes ou fixados mecanicamente ao suporte, pode-se apontar as seguintes principais causas para o aparecimento da anomalia em questão: inadequação do produto de colagem ou a insuficiente quantidade desse mesmo produto, quando as ligações ao suporte são realizadas por colagem; má execução da soldadura, quando se utiliza esta técnica para a ligação em questão; quantidade insuficiente de peças de fixação mecânica por unidade de superfície da cobertura e a deficiente fixação mecânica à estrutura resistente, quando os sistemas de impermeabilização são fixados por este processo (Brito et al., 2003).

3.4.2 Causas indiretas

As causas indiretas ou primeiras são todas aquelas que necessitam da conjugação de uma causa direta para que se inicie o processo patológico e compreendem causas de origem humana na fase de projeto / conceção, na fase de execução e ainda na fase de manutenção / utilização (adaptado de Garcez, 2009).

²⁸ Esta situação conduz normalmente ao envelhecimento do próprio revestimento.

3.4.2.1 Erros de projeto / concepção

A qualidade de um projeto é uma das exigências indispensáveis na garantia da qualidade global de uma construção. Enquanto um bom projeto, isento de erros, omissões, ambiguidades e bem organizado resulta em garantias de sucesso na concretização de empreendimentos, um projeto deficiente poderá ter consequências imprevisíveis no desenvolvimento do mesmo (adaptado de Pereira, 2008).

Como referido em outros trabalhos, a *Bureau Securitas* (1979) efetuou um estudo, em França, onde foram analisadas 10000 situações de deficiências construtivas verificadas em edifícios entre 1968 e 1978. A Figura 3.91 ilustra o resultado desse estudo apresentando a distribuição de sinistros em função das causas fundamentais que lhes deram origem. Segundo estes resultados, verifica-se que 86% das deficiências construtivas resultaram de erros tanto na fase de projeto como na fase de execução.

Analisando a parcela relativa aos custos do projeto (Figura 3.92), verifica-se que o principal fator para o insucesso do projeto é a pormenorização deficiente ou mesmo a sua inexistência, correspondendo a 59% dos casos. Os restantes 41% repartem-se pela concepção geral, utilização de materiais inadequados e erros de cálculo.

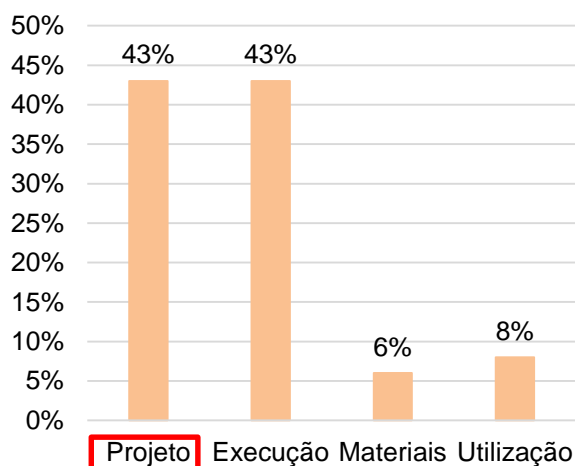


Figura 3.91 - Distribuição dos sinistros em função das causas que lhe deram origem (*Bureau Securitas*, 1979)

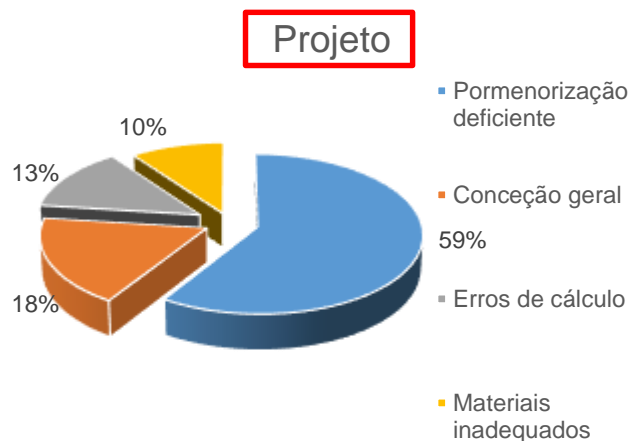


Figura 3.92 - Percentagem de custos e causas de sinistros associados ao projeto (*Bureau Securitas*, 1979)

Um outro estudo, da mesma natureza do anterior, foi apresentado por Cnudde (1991) através de investigações levadas a cabo pelo *Centre Scientifique et Technique de la Construction* (CSTC) e por outros países europeus (Quadro 3.5).

Quadro 3.5 - Principais causas de anomalias em diversos países europeus (adaptado de Cnudde, 1991)

| Causas de deficiências | Bélgica % | Reino Unido % | Alemanha % | Dinamarca % | Roménia % |
|------------------------|-----------|---------------|------------|-------------|-----------|
| Projeto | 46 | 49 | 37 | 36 | 37 |
| Materiais | 15 | 11 | 14 | 25 | 22 |
| Utilização | 8 | 10 | 11 | 9 | 11 |
| Execução | 22 | 29 | 30 | 22 | 19 |
| Outras | 9 | 1 | 8 | 8 | 11 |

Embora se registem algumas variações, o cenário mantém-se uniforme com uma apreciável incidência das deficiências imputáveis ao projeto.

Pode-se concluir que as deficiências nos projetos são uma das causas mais significativas dos problemas e conflitos no sector da construção, seja por inadequação dos materiais especificados, seja por ineficácia das soluções propostas ou por qualquer outra causa já referida.

Segundo Cash (2003), os erros de concepção geral estão associados aos seguintes aspectos:

- ✓ uso frequente de apenas uma membrana de impermeabilização;
- ✓ má concepção do sistema de drenagem;
- ✓ especificações demasiado genéricas (por exemplo, a não especificação exata do tipo de material a utilizar);
- ✓ a não previsão da alteração do tipo de utilização da cobertura ou mesmo a não previsão de certas atividades de manutenção (por exemplo, criação de caminhos para inspeção);
- ✓ providenciar exigências demasiado específicas (normalmente exigências efetuadas aos fabricantes) que não podem ser cumpridas ou de difícil cumprimento;
- ✓ o desrespeito pelo processo construtivo (ou seja, permitir obras complementares sobre a superfície da cobertura após a sua finalização).

Por outro lado, Freitas (2003) acrescenta que os erros de projeto se devem a fatores como: falta de sistematização do conhecimento, ausência de informação técnica, inexistência de sistema efetivo de garantias e seguros, falta de qualidade na mão-de-obra, novas preocupações arquitetónicas, aplicação de novos materiais, falta de pormenorizações adequadas, inexistência na equipa de projeto de especialistas em física das construções e de compatibilização de projetos e a ausência de sistema de incentivos à qualidade.

A escolha inadequada de materiais, que se pode associar aos erros de projeto segundo o *Bureau Securitas* (1979), é outro fator propício a originar anomalias. A incompatibilidade química entre os materiais constituintes do suporte e os do revestimento de impermeabilização pode dar origem, por exemplo, à migração de componentes²⁹. Como consequência, pode reduzir a capacidade de deformação dos revestimentos e conduzir mais facilmente à sua fissuração (Brito et al., 2003). Prevê-se que cada vez menos seja uma causa com preponderância, porque os materiais cada vez mais sofrem melhorias técnicas significativas e são atualmente submetidos, na sua maioria, a testes exaustivos, por exigência dos diversos processos de certificação da qualidade em vigor em muitos países (Silva e Gonçalves, 2001).

Em relação à importância da pormenorização deficiente/insuficiente, a componente que mais contribui para os erros de projeto segundo o *Bureau Securitas* (1979), deve procurar esclarecer eventuais dúvidas que surjam no âmbito das condições técnicas presentes no caderno de encargos³⁰ (Pinto, 2013).

Pinto (2013) refere que, para além desta tentativa de criar pormenores que se baseiam em informação normalizada, é de extrema importância fomentar a elaboração de cadernos de encargos suficientemente claros e objetivos que não resultem em ambiguidades ao nível de interpretações. Na eventualidade de haver espaço para dúvidas, podem ocorrer problemas em obra que levam a posteriores correções dispendiosas e que só contribuem para a insatisfação do dono de obra.

O aparecimento de fissurações no revestimento de impermeabilização está largamente associado aos erros de concepção. Segundo Brito et al. (2003), são exemplos deste caso, a inexistência de uma camada de desolidarização entre a camada de proteção e o revestimento de impermeabilização e a inexistência, na camada de proteção pesada rígida, de juntas de esquadramento convenientemente afastadas entre si.

Alguns autores defendem que a disposição construtiva dos elementos que compõem uma cobertura é um dos

²⁹ Certas membranas de PVC plastificado aplicadas sobre suportes isolantes, como o poliuretano ou o poliestireno expandido, e ainda aquele tipo de membranas em contacto com produtos betuminosos, são situações em que esta migração de componentes ocorre.

³⁰ O decreto-lei 197/99 de 8 e Junho define *caderno de encargos* como “o documento que contém, ordenado por artigos numerados, as cláusulas jurídicas e técnicas, gerais e especiais, a incluir no contrato a celebrar”. Objetiva definir o objeto do projeto, complementar a parte gráfica, fornecer informações para a adjudicação e contrato, bem como estabelecer os requisitos, condições e diretrizes técnicas e administrativas para a execução dos trabalhos.

fatores que determina a maior ou menor probabilidade de ocorrência de condensações, nomeadamente a colocação do isolamento térmico e da barreira ao vapor (Aguilar et al., 2006).

A barreira ao vapor, quando aplicada, deve ficar sob a camada de isolamento térmico e tendo como função a criação de um obstáculo ao fluxo de vapor de água para as camadas sobrejacentes, nomeadamente para a camada de isolamento, onde a eventual condensação desse vapor reduziria a capacidade isolante.

Por sua vez, o isolamento térmico deve ser colocado nas camadas mais exteriores da cobertura, para aumentar a temperatura das camadas com as quais o vapor de água interior está em contacto, minimizando assim o risco de ocorrência de condensações (Lopes, 2010). A utilização de isolamento térmico na construção de coberturas prende-se com a necessidade de reduzir o fluxo de calor entre o interior e o exterior dos edifícios, contribuindo para uma melhoria do conforto higrotérmico³¹ e de habitabilidade no seu interior e, ainda, para um menor consumo de energia (Garcez, 2009).

Caso não se coloque isolamento térmico, promove-se a ocorrência de condensações pelo facto de as camadas sobrejacentes à própria camada de isolamento térmico se encontrarem a uma temperatura semelhante à do exterior. Realce-se que esta situação adquire particular relevância no inverno, porque a temperatura exterior é baixa.

As anomalias que se observam nos remates (elementos emergentes, platibandas, caleiras e embocaduras de tubos de queda) estão, em geral, associadas a erros na fase da conceção, traduzindo-se em deficientes pormenorizações dos remates ou em prescrições inadequadas de materiais.

As principais anomalias que ocorrem em juntas de dilatação correspondem, geralmente, a deslocamentos das juntas de sobreposição dos remates ou fissuração e enrugamento desses remates. As suas causas estão fundamentalmente relacionadas com defeitos de conceção (Lopes, 2010). A realização dos remates nas juntas de dilatação deve seguir o referido em 3.3.13.

A acumulação de detritos em locais como tubos de queda e caleiras é outra anomalia frequente, cuja ocorrência se pode justificar por deficiente conceção. Normalmente esta anomalia está associada, no caso dos tubos de queda, à ausência de ralos de embocadura, e no caso das caleiras, à insuficiente inclinação. O incorreto dimensionamento quer dos tubos de queda quer das caleiras é também um fator que contribui para a acumulação de detritos, pois pode impedir ou dificultar a expulsão dos mesmos.

Outra anomalia recorrente que tem origem na conceção, segundo Silva e Gonçalves (2001), é a infiltração de água em zonas contíguas à soleira da porta, como referido em 3.3.20 (Figura 3.93). Na Figura 3.94 pode-se observar que o remate junto da soleira da porta não foi corretamente executado, isto porque não foi prolongado para o interior da habitação, por baixo da soleira.

Em zonas de soleiras, o revestimento impermeabilizante deve atingir em todos os pontos uma cota superior à cota máxima do pavimento final da superfície da cobertura. As soleiras devem igualmente apresentar uma configuração adequada de modo a não permitirem a penetração de água. Quando estas condições não se verificam, ocorrem habitualmente infiltrações de água.

Tece-se, ainda, algumas considerações sobre o projeto de impermeabilização, menosprezado em Portugal. Picchi (1986) refere que a importância de um projeto de impermeabilização se concentra em analisar, discriminar e especificar todas as metodologias adequadas visando o bom comportamento da impermeabilização. Cremonini e John (1989) afirmam que “o projeto de impermeabilização tem um papel decisivo nos custos e

³¹ Sensação de bem-estar relativamente à humidade e temperatura ambiente.

atividades de manutenção e deve-se evitar a ocorrência de problemas ainda no nível de projeto”. Ainda defendem que corrigir um problema na fase de execução é mais dispendioso, ou seja, se o custo for transmitido ao usuário, o seu custo será muito maior, o que deve ser evitado.



Figura 3.93 - Infiltração de água em zonas contíguas à soleira da porta (Silva e Gonçalves, 2001)



Figura 3.94 - Remate inadequada na soleira da porta

Para além destes desígnios, segundo Azevedo (1993), o projeto de impermeabilização contribui para vários outros benefícios, tais como: constitui uma alternativa de impermeabilização para uma mesma área; cria condições e possibilidades para comparar o custo inicial previsto com o custo efetivo após o projeto escolhido; constitui uma garantia para o usuário que residirá num imóvel onde foram aplicados produtos e materiais impermeabilizantes que suportarão todos os tipos de solicitações que a estrutura irá sofrer; proporciona um melhor acompanhamento da equipa técnica durante as fases de aplicação detalhadas no projeto; facilidade em obter orçamentos mais homogêneos porque geralmente acompanha o projeto. Este projeto deve ser desenvolvido conjuntamente com as outras especialidades de modo a serem previstas as correspondentes especificações em termos de dimensões, cargas, ensaios e detalhes.

Finalmente, é de notar que um erro na fase de projeto, seja ele qual for, pode dificultar a execução dos trabalhos, contribuir para o aparecimento de anomalias na fase de utilização ou ainda originar custos excessivos de manutenção, de onde se pode perceber a importância desta fase.

3.4.2.2 Erros de execução

Atendendo a Freitas e Sousa (2003) e Silva e Gonçalves (2001), os erros de execução estão de forma inequívoca associados à origem das anomalias.

Em França, entre 1999 e 2001, foram analisados cerca de 39.000 sinistros a que corresponderam custos de reparação cujo valor variava entre €1.000 e €130.000, atingindo no seu total um custo de cerca de €200.000.000. Desta análise resultaram os resultados apresentados na Figura 3.95.

Pode-se verificar a elevada contribuição dos defeitos de execução (80%) para o aparecimento de anomalias. O estudo, já apresentado, realizado pelo *Bureau Securitas* (1979), com 43% dos sinistros da responsabilidade dos defeitos de execução, já revelava forte contribuição dos mesmos para o aparecimento de anomalias.

Mais recentemente, Almeida (2014) apresenta uma compilação dos estudos realizados pelo *Sycodés* desde 1979. É possível observar que as anomalias provenientes de defeitos de execução surgem com uma percentagem bem destacada em relação às outras, o que demonstra bem a importância desta fase na garantia da qualidade final do processo construtivo (Figura 3.96).

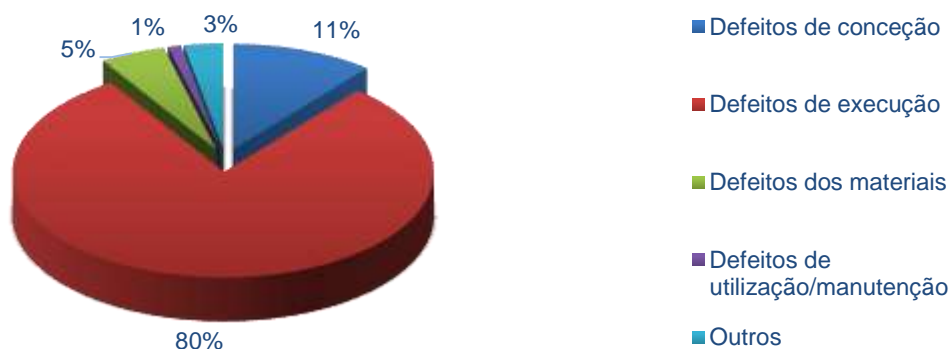


Figura 3.95 - Principais causas das anomalias segundo o Sycodés (Freitas e Sousa, 2003)

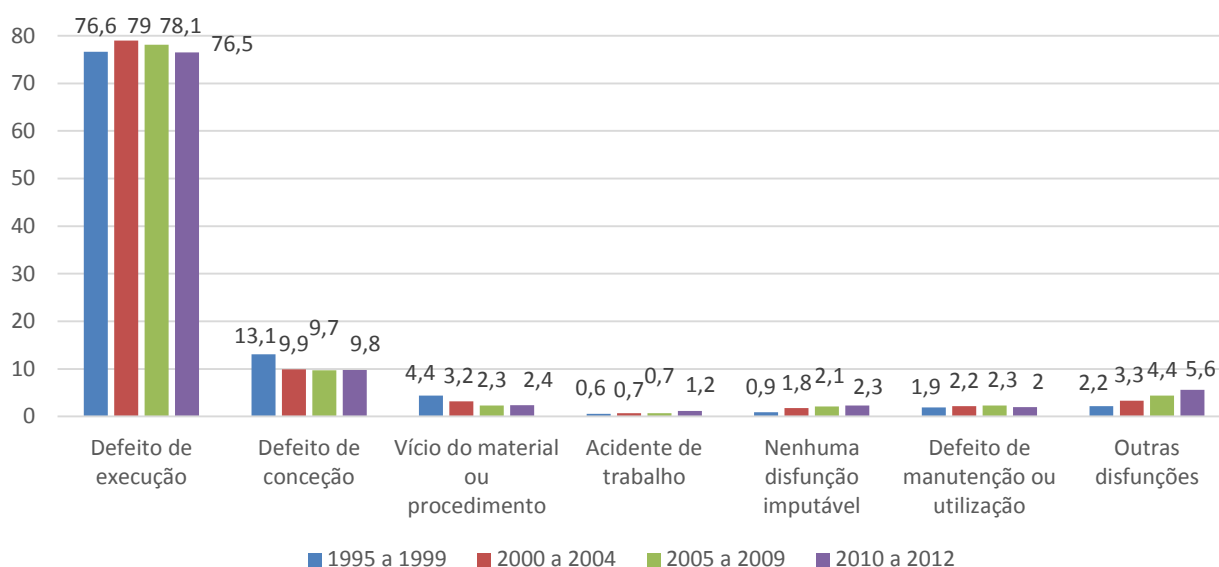


Figura 3.96 - Repartição das anomalias na construção por causa de origem (adaptado de Sycodés, 2013)

Sendo a fase de execução uma das maiores condicionantes na obtenção de um produto final com qualidade é nela que as tarefas de controlo da qualidade se vão tornar mais frequentes. A execução dos trabalhos implica um contínuo acompanhamento e nunca apenas simples controlos finais. É preciso colocar na obra todas as capacidades de controlo e acompanhamento para evitar as não conformidades e, quando aparecem, é preciso tratá-las rapidamente e com precisão (Costa, 2004). O controlo da qualidade na fase de execução é a ferramenta essencial e indispensável na obtenção de um produto final com menos defeitos. Os erros de execução, segundo Freitas (2007), estão associados a fatores como: estruturas das empresas de construção, deficiente interligação com os diferentes subempreiteiros, não qualificação da mão-de-obra / formação profissional, velocidade exigida ao processo de construção, responsabilização (demora da justiça em caso de conflito), não exigência de qualificação profissional e desconhecimento das propriedades dos materiais e componentes aplicados. Estes problemas derivam da atual organização do sector da construção e da crescente competitividade das empresas de construção que respondem com a redução dos seus quadros ao mínimo possível e a redução de honorários contribuindo assim para um menor investimento na qualidade de execução (Garcez, 2009). Segundo Sousa (2004), a causa de um empoamento do revestimento em tela “auto-protegida” da cobertura em terraço não acessível pode dever-se-se à deficiente concepção / execução da camada de suporte, nomeadamente a inexistência de juntas de dilatação, bem como à inexistência de isolamento térmico. Os empoamentos também podem ter origem em erros de execução devido a ocorrências como: a inexistência de colagem

das camadas do sistema totalmente aderente em zonas localizadas, a falta de planeza do suporte, o encurvamento acentuado do mesmo, quando constituído por painéis isolantes, o uso de membranas de rolos achatados, devido ao armazenamento incorreto dos mesmos (Figura 3.97), dificultando o seu posicionamento plano sobre o suporte, e a insatisfatória limpeza dos materiais estranhos confinados entre a impermeabilização e o suporte (Figura 3.98), como por exemplo gravilha e pedaços de papel, constituem as principais causas da ocorrência desses vazios (Brito et al., 2003).



Figura 3.97 - Rolos achatados devido ao seu armazenamento incorreto (Walter, 2002)



Figura 3.98 - Limpeza insatisfatória do suporte (Walter, 2002)

A errada execução do processo de ligação também pode ser um fator importante para a ocorrência de empolamentos. Neste caso, quando o processo de ligação do sistema de impermeabilização ao suporte consistir na soldadura das duas camadas recorrendo ao maçarico, a ligação deve ser efetuada de forma contínua, controlando a velocidade do maçarico e distância ao material a aplicar. Tanto a velocidade como a distância deve manter-se o mais constante possível (Figura 3.99).



Figura 3.99 - Soldadura por meio de chama de um sistema de camda dupla fixado mecanicamente (Lopes, 2012)

Se estas recomendações não forem cumpridas, incorre-se no risco de aparecimento de vazios, visto que a pasta fluida que se forma sob a membrana deve ter aproximadamente o mesmo volume e consistência de modo a evitar irregularidades e consequentemente vazios³². A respeito da qualidade de execução, Brito et al. (2003) referem que é um fator muito importante para minimizar a ocorrência de empolamentos nos revestimentos de impermeabilização. Para tal, é necessário atender a aspetos como: a limitação dos teores de humidade nos materiais do suporte do sistema de impermeabilização a valores adequados, a criação de boas condições de armazenamento das membranas em fábrica, no transporte e em obra e a planeza apropriada

³² Estes vazios estão associados à ocorrência de empolamentos, tal como explicado em 3.3.4.

da superfície dos suportes isolantes da impermeabilização (Brito et al., 2003).

As principais causas da permanência prolongada de água na superfície corrente da cobertura estão relacionadas com erros de execução, nomeadamente ao nível da pendente. A reduzida pendente dificulta o rápido escoamento da água presente e desde logo promove a acumulação de água e detritos na cobertura. A inexistência de ralos nas embocaduras dos tubos de queda contribui de forma inequívoca para a obstrução desses tubos, a qual é agravada quando a sua secção de escoamento é insuficiente (Brito et al., 2003). A execução da camada de forma em redor dos tubos de queda deve ser efetuada com todo o rigor promovendo um rebaixamento da mesma de modo a evitar uma sobrelevação no revestimento de impermeabilização, tal como referido em 3.3.20 (Figura 3.100). A Figura 3.101 ilustra um caso em que não existiu o rebaixamento da camada de forma nas imediações do tubo de queda, tal como se regista a ausência de ralo na embocadura.

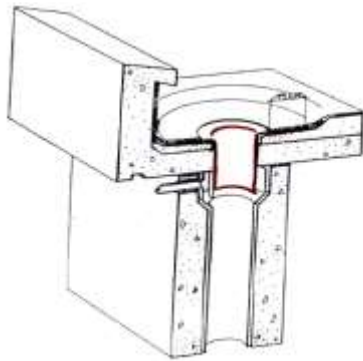


Figura 3.100 - Rebaixamento da camada de forma na zona de embocaduras de tubos de queda (Lopes, 2012)



Figura 3.101 - Ausência do rebaixamento da camada de forma e de ralo na embocadura.

Esta sobrelevação é devida ao espessamento deste revestimento, resultante da aplicação, não só de uma camada complementar de remate, como também das peças (metálicas, de borracha ou de plástico) de ligação com o tubo de queda (Figura 3.102) ou com outro dispositivo de recolha e descarga da água pluvial (Walter, 2002).

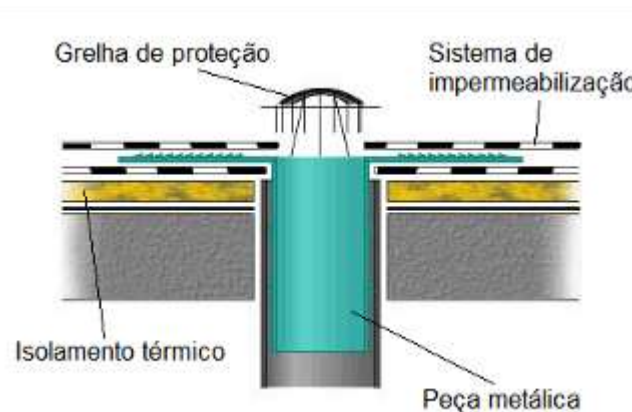


Figura 3.102 - Pormenorização de um tubo de queda (adaptado de Imperialum, 2014)

O remate do sistema impermeabilizante sob soleiras é um ponto crítico das coberturas planas, quer ao nível de projeto quer de execução. É tendência corrente não sobreelevar suficientemente a soleira das portas relativamente à superfície da cobertura (Figura 3.103), resultando necessariamente em que o remate do sistema impermeabilizante é executado com altura inferior à cota da soleira. Assim, torna-se indispensável prolongar o remate da impermeabilização sob a soleira, onde posteriormente será efetuado o meio fio em argamassa,

sobre a qual será assente a soleira (Figura 3.104) (Lopes, 2010).

Lopes (2010) refere que o remate da impermeabilização nessa zona não é executado conforme o referido pois, frequentemente, a caixilharia e as respetivas soleiras das portas são montadas em primeiro lugar..



Figura 3.103 - Exemplo de erro de projeto - altura insuficiente para a execução do correto remate da soleira (Figueiredo, 2012)



Figura 3.104 - Exemplo da correta aplicação da soleira sobre o novo sistema (Figueiredo, 2012)

Em caleiras, o sentido de aplicação das membranas é ainda mais importante do que na superfície corrente, visto que é um local onde se concentram e deslocam as maiores quantidades de água. As membranas devem ser aplicadas da saída de escoamento para o ponto de cota mais elevada da caleira, de modo a que as juntas de sobreposição não fiquem diretamente sujeitas ao contacto com a lâmina de água, tal como referido em 3.3.17. A fissuração dos remates tem como principais causas: a não execução de meia-cana entre pavimento e paramento vertical; a inexistência ou insuficiente número de juntas de esquartelamento na proteção pesada rígida; e movimentos diferenciais acentuados entre a estrutura resistente e o elemento emergente (Figueiredo, 2012). O descolamento de remates em paramentos verticais (Figura 3.105) pode ser relacionado com diversos fatores, entre eles a falta de qualidade da superfície do reboco / suporte onde foi aplicado o sistema impermeabilizante, a configuração do elemento ou o difícil acesso que impossibilita a correta execução dos remates ou a falta de fixação mecânica complementar do remate do sistema impermeabilizante, cujo desenvolvimento em altura é demasiado elevado (Figueiredo, 2012).



Figura 3.105 - Exemplo de descolamento do sistema impermeabilizante num paramento

As principais causas do descolamento das juntas de sobreposição das membranas que constituem os sistemas de impermeabilização de coberturas em terraço estão relacionadas com a sua aplicação em obra, como a deficiente colocação da membrana, a reduzida largura das juntas de sobreposição, a insuficiente quantidade de produto de colagem, a má execução da colagem ou da soldadura (adaptado de Brito et al., 2008).

3.4.2.3 Erros de utilização / manutenção

As ações de conservação / manutenção correspondem a uma série de medidas, preventivas ou outras, aplicadas à construção de forma a permitir que esta desempenhe as suas funções de forma satisfatória durante o seu período de vida (Apicer, 2003). A inspeção deve ser planeada tendo em conta a previsão das condições meteorológicas, de forma a auxiliarem a observação e identificação de anomalias. Morgado (2012) apresenta, em detalhe, um programa de inspeções a coberturas em terraço. As ações de inspeção e manutenção são realizadas por técnicos especializados e compreendem ações como: a verificação do estado das membranas e revestimentos nas zonas correntes da cobertura e em pontos singulares como caleiras, bocais de escoamento, tubos ladrão, bocais de ventilação, elementos de fixação mecânica das membranas, juntas de dilatação, encontro com soleiras, muretes, chaminés, clarabóias e quaisquer outros elementos emergentes; a verificação da colagem das membranas nas juntas de sobreposição e nos remates a caleiras e todos os elementos emergentes; a verificação da inexistência de fissuras nos revestimentos da zona corrente e dos elementos emergentes (aí especialmente acima do remate das membranas); efetuar ações de pequena reparação imediata em pequenas anomalias e prever ações de maior intervenção no caso de anomalias de maior dimensão ou maior complexidade (Pombo, 2014).

O utilizador também deve efetuar inspeções realizando as seguintes ações: verificação e limpeza / desentupimento de caleiras, bocais de escoamento, tubos ladrão, bocais de ventilação e outros pontos singulares; eliminação de possível vegetação e de sedimentos e materiais acumulados que possam provocar retenção de água na cobertura; visionamento e anotação do aspeto de zonas tipificadas como a superfície das membranas quando à vista, o revestimento ou sobrecarga da impermeabilização, o encontro com muretes, chaminés, clarabóias e quaisquer outros elementos emergentes (Pombo, 2014).

A implementação de planos de manutenção permite detetar atempadamente as anomalias, impedindo o seu agravamento e evolução com repercussões ao nível das condições de habitabilidade e custos de reparação associados, ou, ainda, evitar o seu aparecimento (Gonçalves, 2008).

Relativamente aos pontos singulares, Morgado (2012) refere que são, em diversos casos, elementos sujeitos a uma manutenção insuficiente e a sua importância, relativamente à correta funcionalidade de todo o sistema de cobertura é muitas vezes descurada não só pelos utentes do edifício, como também pelos próprios técnicos.

Relativamente ao sistema de drenagem, é também afetado, não só por erros de conceção / projeto, neste caso ao nível do seu dimensionamento, mas também pela falta de manutenção (Walter, 2002) (Rocha, 2008). Em relação ao vandalismo, é uma ação imprevisível que também pode afetar o desempenho do sistema de cobertura, nomeadamente se o sistema de impermeabilização for danificado.

No que respeita à alteração das condições inicialmente previstas de utilização de cobertura, se não se tomarem medidas corretivas, podem aparecer problemas devido à incompatibilidade da solução adotada com o uso previsto. De forma a demonstrar o referido, refere-se os seguintes exemplos:

- ✓ modificação da acessibilidade da cobertura;
- ✓ conversão de terraços em jardins.

Por fim, considera-se que a existência de sistemas de diagnóstico é uma mais-valia para o controlo e deteção precoce destas anomalias. Quanto mais cedo ocorrer a deteção do erro, mais provável mais fácil e provavelmente menos dispendiosa será a sua correção. De forma a evitar e solucionar problemas atempadamente, Amado (2013) propõe um ciclo de manutenção aos edifícios, nomeadamente ao nível da cobertura (Figura 3.106). Este ciclo abrange o tempo de vida útil previsto para uma cobertura plana e prevê inspeções destinadas a analisar cada um dos sistemas apresentados na Figura 3.106.

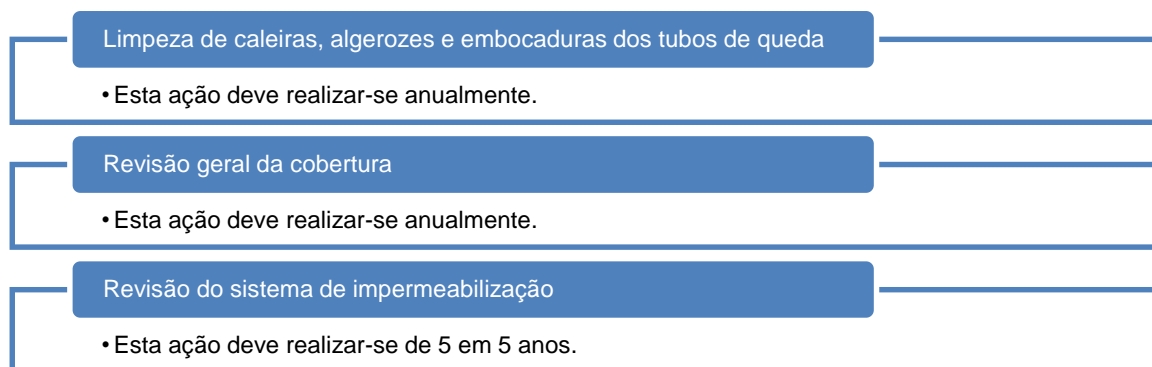


Figura 3.106 - Ciclo de manutenção de uma cobertura (adaptado de Amado, 2013)

3.5 Matrizes de correlação

3.5.1 Considerações iniciais

Tal como refere Silvestre (2008), um elemento fulcral do sistema de apoio à inspeção e diagnóstico são as matrizes de correlação das anomalias com as causas prováveis, com as técnicas de reparação, com os métodos de diagnóstico e as matrizes que relacionam as anomalias entre si. A construção deste tipo de matrizes auxilia o diagnóstico a efetuar, em obra pelo inspetor, dado que permite determinar o índice de simultaneidade das anomalias, verificar a real contribuição das causas prováveis enunciadas e atestar a possibilidade de pôr em prática as técnicas de reparação prescritas. A partir das matrizes de correlação, e utilizando o sistema classificativo de anomalias proposto, apresenta-se um exemplo de ficha de anomalia. Estas matrizes foram elaboradas com base em trabalhos anteriores (Brito, 1992; Walter, 2002; Silvestre, 2005; Garcia, 2006; Pereira, 2008; Garcez, 2009; Silva e Gonçalves, 2001).

3.5.2 Matriz correlação anomalias - causas

Para o preenchimento desta matriz, dividiu-se as causas prováveis de ocorrência das anomalias em causas diretas (próximas) e causas indiretas (primeiras).

Para cada anomalia, são assim identificadas, através de matrizes de correlação, as causas prováveis da sua ocorrência, sendo cada uma delas classificada de acordo com um número, que se designará por índice de correlação, que pode ser 0, 1 ou 2, de acordo com o grau de correlação que possui com a anomalia (Brito, 1992):

- **0 - SEM RELAÇÃO** - não existe qualquer correlação (direta ou indireta) entre a anomalia e a causa;
- **1 - PEQUENA CORRELAÇÃO** - causa indireta (primeira) da anomalia relacionada com o início do processo de deterioração; causa secundária do processo de deterioração não necessária para o seu desenvolvimento;
- **2 - GRANDE CORRELAÇÃO** - causa direta (próxima) da anomalia, associada à fase final do processo de deterioração; quando ocorre, constitui uma das razões principais do processo de deterioração e é indispensável ao seu desenvolvimento.

Da aplicação desta metodologia resulta a matriz de correlação anomalias - causas, em que as linhas correspondem às anomalias em coberturas em terraço e as colunas às possíveis causas associadas. Esta matriz de correlação teórica entre as anomalias em coberturas em terraço e as possíveis causas foi validada no capítulo 5, com base nos dados resultantes das inspeções. Desta validação resultaram alterações em alguns índices de correlação propostos inicialmente, sendo que estas se encontram destacadas no Quadro 3.6.

Quadro 3.6 - Matriz de correlação anomalias - causas prováveis

| | CP-1 | CP-2 | CP-3 | CP-4 | CP-5 | CP-6 | CP-7 | CP-8 | CP-9 | CP-10 | CP-11 | CE-1 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|
| A-G1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 |
| A-G2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 |
| A-G3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| A-G4 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| A-G5 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| A-G6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| A-G7 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| A-G8 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| A-G9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| A-G10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| A-G11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| A-G12 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| A-S1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| A-S2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| A-S3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| A-S4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| A-S5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| A-S6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| A-S7 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| A-S8 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |

| | CE-2 | CE-3 | CE-4 | CE-5 | CE-6 | CE-7 | CE-8 | CE-9 | CE-10 | CE-11 | CE-12 | CA-1 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|
| A-G1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| A-G3 | 1 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 |
| A-G4 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| A-G5 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| A-G7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| A-G9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| A-G10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G12 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-S1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| A-S2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-S3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-S4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| A-S5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| A-S6 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| A-S7 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| A-S8 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |

| | CA-2 | CA-3 | CA-4 | CA-5 | CA-6 | CA-7 | CU-1 | CU-2 | CU-3 | CU-4 | CU-5 | CM-1 | CM-2 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| A-G1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| A-G2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| A-G3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| A-G4 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| A-G6 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| A-G7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G8 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| A-G9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G10 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G11 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G12 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| A-S1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-S2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| A-S3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-S4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-S5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-S6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-S7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-S8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

3.5.3 Matriz de correlação das anomalias entre si

A criação de uma matriz de correlação entre anomalias tem como objetivo estabelecer um índice de correlação entre as mesmas. Desta forma, ter-se-á acesso a probabilidades de ocorrência de anomalias aquando da ocorrência de outra. Segundo Brito (1992), o índice de correlação entre a anomalia k e a anomalia j é obtido da seguinte forma:

- ✓ por cada anomalia detetada (anomalia k), lê-se a linha correspondente na matriz de correlação anomalias - causas;
- ✓ por cada anomalia detetada (anomalia j), lê-se a linha correspondente na matriz de correlação anomalias - causas;
- ✓ calcula-se por coluna, o produto dos índices destas duas linhas correspondentes às anomalias k e j da matriz de correlação anomalias - causas;
- ✓ adicionam-se os vários produtos, de forma a obter o índice de correlação de cada anomalia CI_{kj} , traduzidos na seguinte expressão:

$$CI_{kj} = \sum_{i=1}^N c_{ki} \cdot c_{ji}, \text{ sendo } N \text{ o número total de causas possíveis} \quad (1)$$

Após a aplicação deste processo, resultam os valores apresentados no Quadro 3.7.

No entanto, o índice de correlação inter-anomalias não é suficientemente elucidativo, tendo em conta as seguintes razões (Brito, 1992):

- ✓ por um lado, o valor absoluto do índice não tem significado físico para o utilizador;
- ✓ a análise da matriz de correlação permite verificar que todas as anomalias estão relacionadas entre si, não se tornando porém muito claro o respetivo grau de correlação;
- ✓ finalmente, um índice de valor absoluto mais baixo pode na realidade identificar uma anomalia com maior probabilidade de ocorrência simultânea com a que foi detetada, do que um índice mais alto.

Para se conseguir analisar os resultados de forma mais intuitiva, estabeleceu-se uma correlação percentual entre anomalias, através da determinação da percentagem do índice de correlação real em relação a um

índice de correlação teórico máximo possível, o qual tem o significado físico de uma probabilidade de ocorrência de uma determinada anomalia em face da detecção de outra.

A matriz de correlação passa assim a ser assimétrica, dado que a probabilidade de ocorrência da anomalia j quando se verifica a anomalia k não é obrigatoriamente idêntica à probabilidade da relação inversa. O índice de correlação teórico percentual é assim obtido da seguinte forma (Silvestre, 2005):

- ✓ por cada anomalia k detetada, lê-se a linha correspondente na matriz de correlação anomalias - causas prováveis, multiplicando-se por 2 todos os índices de correlação da anomalia k com as causas e efetuando-se a soma desses produtos, de forma a obter o índice de correlação teórico máximo possível de qualquer anomalia em relação à anomalia k , I_{Mk} :

$$I_{Mk} = \sum_{i=1}^N (c_{ki} * 2), \text{ sendo } N \text{ o número total de causas prováveis} \quad (2)$$

- ✓ para se determinar o índice de correlação teórico percentual da anomalia k com a anomalia j , $CI_{\%kj}$, correspondente à probabilidade de ocorrência da anomalia j (coluna j) quando se verifica a anomalia k (linha k), calcula-se o quociente entre o índice de correlação entre anomalias (anomalia de referência k e anomalia associada j) e o índice de correlação teórico máximo da anomalia k :

$$CI_{\%kj} = \frac{CI_{kj}}{I_{Mk}} \times 100 \quad (3)$$

Os valores apresentados no Quadro 3.8 resultam da aplicação deste processo.

Quadro 3.7 - Matriz de correlação das anomalias entre si

| | A-G1 | A-G2 | A-G3 | A-G4 | A-G5 | A-G6 | A-G7 | A-G8 | A-G9 | A-G10 | A-G11 | A-G12 | A-S1 | A-S2 | A-S3 | A-S4 | A-S5 | A-S6 | A-S7 | A-S8 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| A-G1 | | 14 | 5 | 6 | 14 | 3 | 0 | 4 | 0 | 6 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G2 | 14 | | 11 | 10 | 18 | 12 | 2 | 3 | 0 | 7 | 4 | 9 | 4 | 3 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 |
| A-G3 | 5 | 11 | | 14 | 6 | 6 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 15 | 8 | 3 | 2 | 2 | 16 | 16 | 11 | 17 |
| A-G4 | 6 | 10 | 14 | | 14 | 0 | 8 | 0 | 4 | 8 | 4 | 10 | 14 | 2 | 2 | 2 | 8 | 4 | 2 | 17 |
| A-G5 | 14 | 18 | 6 | 14 | | 0 | 4 | 0 | 0 | 4 | 4 | 8 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G6 | 3 | 12 | 6 | 0 | 0 | | 0 | 7 | 0 | 3 | 0 | 6 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 |
| A-G7 | 0 | 2 | 4 | 8 | 4 | 0 | | 0 | 4 | 0 | 0 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 2 | 4 |
| A-G8 | 4 | 3 | 4 | 0 | 0 | 7 | 0 | | 14 | 12 | 3 | 3 | 0 | 6 | 0 | 8 | 0 | 0 | 4 | 0 |
| A-G9 | 0 | 0 | 4 | 4 | 0 | 0 | 4 | 14 | | 6 | 2 | 0 | 4 | 2 | 2 | 14 | 4 | 4 | 10 | 4 |
| A-G10 | 6 | 7 | 2 | 8 | 4 | 3 | 0 | 12 | 6 | | 7 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G11 | 5 | 4 | 2 | 4 | 4 | 0 | 0 | 3 | 2 | 7 | | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G12 | 5 | 9 | 15 | 10 | 8 | 6 | 4 | 3 | 0 | 5 | 7 | | 0 | 1 | 0 | 0 | 4 | 8 | 8 | 8 |
| A-S1 | 0 | 4 | 8 | 12 | 4 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | | 2 | 2 | 2 | 8 | 4 | 2 | 8 |
| A-S2 | 0 | 0 | 3 | 2 | 0 | 2 | 2 | 6 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 | | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| A-S3 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| A-S4 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 8 | 14 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | | 2 | 2 | 9 | 2 |
| A-S5 | 0 | 0 | 16 | 8 | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 4 | 8 | 2 | 2 | 2 | | 4 | 2 | 8 |
| A-S6 | 0 | 4 | 16 | 4 | 0 | 4 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 8 | 4 | 2 | 2 | 2 | 4 | | 10 | 12 |
| A-S7 | 0 | 0 | 11 | 2 | 0 | 0 | 2 | 4 | 10 | 0 | 0 | 8 | 2 | 1 | 1 | 9 | 2 | 10 | | 11 |
| A-S8 | 0 | 0 | 17 | 8 | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 8 | 8 | 2 | 2 | 2 | 8 | 12 | 11 | |

Quadro 3.8 - Matriz de correlação percentual das anomalias entre si

| | A-G1 | A-G2 | A-G3 | A-G4 | A-G5 | A-G6 | A-G7 | A-G8 | A-G9 | A-G10 | A-G11 | A-G12 | A-S1 | A-S2 | A-S3 | A-S4 | A-S5 | A-S6 | A-S7 | A-S8 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| A-G1 | | 64% | 23% | 27% | 64% | 14% | 0% | 18% | 0% | 27% | 23% | 23% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| A-G2 | 39% | | 31% | 28% | 50% | 33% | 6% | 8% | 0% | 19% | 11% | 25% | 11% | 8% | 0% | 0% | 0% | 11% | 0% | 0% |
| A-G3 | 11% | 25% | | 32% | 14% | 14% | 9% | 9% | 9% | 5% | 5% | 34% | 18% | 7% | 5% | 5% | 36% | 36% | 25% | 39% |
| A-G4 | 17% | 28% | 39% | | 39% | 0% | 22% | 0% | 11% | 22% | 11% | 28% | 39% | 6% | 6% | 6% | 22% | 11% | 6% | 47% |
| A-G5 | 58% | 75% | 25% | 58% | | 0% | 17% | 0% | 0% | 17% | 17% | 33% | 17% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| A-G6 | 14% | 55% | 27% | 0% | 0% | | 0% | 32% | 0% | 14% | 0% | 27% | 0% | 9% | 0% | 0% | 0% | 18% | 0% | 0% |
| A-G7 | 0% | 25% | 50% | 100% | 50% | 0% | | 0% | 50% | 0% | 0% | 50% | 50% | 25% | 25% | 25% | 50% | 50% | 25% | 50% |
| A-G8 | 11% | 8% | 11% | 0% | 0% | 18% | 0% | | 37% | 32% | 8% | 8% | 0% | 16% | 0% | 21% | 0% | 0% | 11% | 0% |
| A-G9 | 0% | 0% | 17% | 17% | 0% | 0% | 17% | 58% | | 25% | 8% | 0% | 17% | 8% | 8% | 58% | 17% | 17% | 42% | 17% |
| A-G10 | 25% | 29% | 8% | 33% | 17% | 13% | 0% | 50% | 25% | | 29% | 21% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| A-G11 | 42% | 33% | 17% | 33% | 33% | 0% | 0% | 25% | 17% | 58% | | 58% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| A-G12 | 15% | 26% | 44% | 29% | 24% | 18% | 12% | 9% | 0% | 15% | 21% | | 0% | 3% | 0% | 0% | 12% | 24% | 24% | 24% |
| A-S1 | 0% | 25% | 50% | 75% | 25% | 0% | 25% | 0% | 25% | 0% | 0% | 0% | | 13% | 13% | 13% | 50% | 25% | 13% | 50% |
| A-S2 | 0% | 0% | 25% | 17% | 0% | 17% | 17% | 50% | 17% | 0% | 0% | 8% | 17% | | 8% | 8% | 17% | 17% | 8% | 17% |
| A-S3 | 0% | 0% | 20% | 20% | 0% | 0% | 20% | 0% | 20% | 0% | 0% | 0% | 20% | 10% | | 10% | 20% | 20% | 10% | 20% |
| A-S4 | 0% | 0% | 11% | 11% | 0% | 0% | 11% | 44% | 78% | 0% | 0% | 0% | 11% | 6% | 6% | | 11% | 11% | 50% | 11% |
| A-S5 | 0% | 0% | 100% | 50% | 0% | 0% | 25% | 0% | 25% | 0% | 0% | 25% | 50% | 13% | 13% | 13% | | 25% | 13% | 50% |
| A-S6 | 0% | 25% | 100% | 25% | 0% | 25% | 25% | 0% | 25% | 0% | 0% | 50% | 25% | 13% | 13% | 13% | 25% | | 63% | 75% |
| A-S7 | 0% | 0% | 55% | 10% | 0% | 0% | 10% | 20% | 50% | 0% | 0% | 40% | 10% | 5% | 5% | 45% | 10% | 50% | | 55% |
| A-S8 | 0% | 0% | 94% | 44% | 0% | 0% | 22% | 0% | 22% | 0% | 0% | 44% | 44% | 11% | 11% | 11% | 44% | 67% | 61% | |

3.6 Fichas de anomalias


Por fim reúne-se, nas fichas de anomalias individuais, toda a informação resultante tanto da classificação e caracterização de anomalias como das relações anomalias - causas prováveis e inter - anomalias. O formato e conteúdo destas fichas baseiam-se em trabalhos anteriores (Brito, 1992; Walter, 2002; Silvestre, 2005; Garcia, 2006; Garcez, 2009; Pereira, 2008) e nelas constam as seguintes informações:

- ✓ cabeçalho com a designação e o nome da anomalia, de acordo com o Quadro 3.1;
- ✓ apresentação de uma fotografia representativa de um caso real onde a anomalia foi identificada;
- ✓ descrição sumária das manifestações patológicas características da anomalia;
- ✓ causas prováveis para a ocorrência da anomalia (de acordo com a matriz de correlação anomalias - causas prováveis; as causas são identificadas por uma descrição sumária e pela designação em código de acordo com o Quadro 3.4; as causas diretas encontram-se destacadas);
- ✓ consequências possíveis da anomalia, em função do tipo de aplicação, as quais podem constituir por si só outras anomalias;
- ✓ aspetos a inspecionar (características relacionadas com a anomalia detetada que podem vir a ter interesse no diagnóstico da mesma ou constituir por si mesmo novas anomalias);
- ✓ ensaios a realizar *in situ*, de acordo com o Quadro 4.1 (de forma a caracterizar a anomalia em termos de extensão, gravidade e estado de evolução; de acordo com a matriz de correlação anomalias - técnicas de diagnóstico apresentada no Quadro 4.3);
- ✓ parâmetros de classificação (os quais podem ser resultantes dos ensaios efetuados e permitem aferir o nível de gravidade da anomalia);
- ✓ nível de gravidade / urgência de intervenção, correspondendo:

- ❖ **valor 0** - necessidade de intervenção imediata - até seis meses;
- ❖ **valor 1** - necessidade de intervenção a médio prazo - até um ano;
- ❖ **valor 2** - necessidade de monitorizar a evolução da anomalia, em particular na próxima inspeção.

No Quadro 3.9 apresenta-se um exemplo de uma ficha de anomalia sendo as restantes fichas apresentadas no anexo 3.I.

Quadro 3.9 - Ficha de anomalia

| FICHA DE ANOMALIA A-G5 | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Fissuração | |
| DESCRIÇÃO: | |
| Traduz-se no aparecimento de fissuras na camada de impermeabilização, em zona corrente ou pontos singulares, ou no paramento interior do teto. | |
| CAUSAS PROVÁVEIS: | |
| - conceção / pormenorização deficiente das camadas a aplicar (CP-1) | |
| - conceção / pormenorização deficiente das juntas de dilatação ou a sua deficiente execução (CP-2 , CE-5) | |
| - escolha inadequada dos materiais (CP-11) | |
| - ação da radiação ultravioleta/solar (CA-2) | |
| - envelhecimento natural (CA-6) | |
| - ciclos de humedificação-secagem (CA-7) | |
| CONSEQUÊNCIAS POSSÍVEIS: | |
| - zonas de acumulação e infiltração de água | |
| - nos sistemas aderentes existe maior probabilidade de ocorrência de fissuras | |
| - aparecimento de vegetação parasitária / colonização biológica | |
| - perda de ductilidade da membrana de impermeabilização | |
| - efeito estético afetado | |
| ASPETOS A INSPECIONAR: | |
| - fissuras generalizadas / localizadas (G/L) | |
| - existência de infiltrações | |
| ENSAIOS A REALIZAR: | |
| - inspeção visual (D-A1) | |
| PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO: | |
| - condições para que o fenómeno progrida (S/N) | |
| - estado de degradação: alto (A); baixo (B) | |
| - manchas de humidade (S/N) | |
| - valor estético das áreas afetadas (A-alto; M-médio; B-baixo) | |
| NÍVEL DE GRAVIDADE / URGÊNCIA DE REPARAÇÃO: | |
| 0 - quando a degradação for elevada ou forem detetadas manchas de humidade | |
| 1 - quando o fenómeno está em evolução e pode vir a afetar a estanqueidade, em zonas de alto valor estético para o público | |
| 2 - nos restantes casos | |

3.7 Síntese

Apresentou-se um sistema classificativo de anomalias e respetivas causas associadas, com o objetivo de normalizar e otimizar a inspeção e o diagnóstico destes elementos construtivos.

O sistema classificativo apresentado é constituído por 2 grupos de anomalias, num total de 20 anomalias principais agrupadas segundo o seu aspeto visual. Também é constituído por 5 grupos de causas possíveis, num total de 37 causas principais.

Construíram-se matrizes de correlação anomalias - causas e anomalias entre si, com base na bibliografia consultada, dependentes dos resultados obtidos durante as inspeções realizadas. Este processo permitiu a validação do sistema no capítulo 5.

Elaboraram-se fichas de anomalias que condensam toda a informação relacionada com a anomalia em questão, como a sua designação, descrição sumária, causas e consequências possíveis, aspetos a inspecionar, parâmetros de inspeção, técnicas de diagnóstico (capítulo 4) e a classificação da anomalia, de acordo com o nível de gravidade / urgência de reparação associado.

4 Técnicas de diagnóstico

4.1 Considerações iniciais

Reconhecida a importância da reparação de anomalias em coberturas em terraço, é de todo recomendável realizar inspeções técnicas com certa periodicidade que servirão para diagnosticar as possíveis intervenções a realizar. Estas inspeções têm como objetivo a recolha dos dados resultantes de uma minuciosa prospeção e de uma compilação de dados e descrições. Para proceder a estas inspeções, é necessário recorrer a técnicas de diagnóstico, as quais, se enquadram no princípio do diagnóstico.

O estudo de diagnóstico compreende um conjunto de procedimentos destinados a garantir o justo conhecimento acerca de um edifício ou estrutura, incluindo a avaliação do seu estado de conservação e segurança e a determinação das causas das anomalias observadas (Appleton, 2002). Por intermédio desta ação, é possível identificar um problema e suas causas, recorrendo a técnicas de diagnóstico. Através do estudo de diagnóstico, é ainda possível prever-se, com relativa segurança, eventuais consequências futuras.

O estudo de diagnóstico é complexo requerendo um conjunto vasto de elementos e quando concluído deverá ser elaborado um relatório por parte do inspetor, cuja estrutura deverá ser a seguinte (Freitas, 2012):

- ✓ introdução;
- ✓ localização e descrição do edifício;
- ✓ descrição dos elementos construtivos em análise;
- ✓ sondagens, medições e ensaios;
- ✓ descrição das anomalias;
- ✓ causas das anomalias;
- ✓ metodologia para os trabalhos da reabilitação;
- ✓ estimativa do custo das soluções propostas.

É de salientar que nem todos os estudos incluem o conjunto das ações atrás referidas (umas por não haver necessidade, outras por impossibilidade de realização), tal como nem todas as ações são realizadas com o mesmo grau de exigência em todos os estudos.

O lançamento de análises e diagnósticos é, hoje em dia, aceite como um elemento fundamental para a identificação das anomalias na construção. Deste modo, reforça-se a ideia de que a identificação correta das causas e a avaliação rigorosa da situação real é uma condição indispensável para a resolução de patologias. Nestas análises, é necessário evitar as posições extremas, o excessivo otimismo ou o excessivo pessimismo. Uma avaliação muito otimista do estado e carácter das anomalias em elementos da construção poderá conduzir ao prejuízo potencial da segurança e da economia a médio / longo prazo. A posição de excessivo pessimismo poderá conduzir à delapidação dos recursos (adaptado de Cabrita et al., 1998).

Para além da relevância do estudo do diagnóstico já explicitada, perante o mesmo, o dono de obra conhece as necessidades de intervenção global no edifício, as possíveis soluções de reparação e a estimativa dos custos unitários dos trabalhos de reabilitação, o que lhe permitirá definir uma estratégia de intervenção que poderá ser global ou faseada (adaptado de Gonçalves, 2004).

No presente capítulo, faz-se referência à importância e metodologia de um diagnóstico e procura-se abordar e sistematizar algumas das técnicas existentes de diagnóstico de anomalias de edifícios como a inspeção visual, equipamentos necessários e ensaios *in situ* e laboratoriais. Segundo Córias (2006), na maior parte das situações, não se recorre aos ensaios laboratoriais, uma vez que implicam alguma complexidade na execução e morosidade na obtenção dos resultados, para além dos custos elevados que têm associados. Assim, é mais

frequente o recurso a ensaios de realização *in situ*, mais simples e menos intrusivos, assumindo a inspeção visual e a experiência profissional uma importância decisiva para a interpretação dos resultados e separação intuitiva da informação relevante e da não relevante. Relativamente aos métodos de diagnóstico não destrutivos são procedimentos que procuram obter informação sobre as propriedades dos materiais sem os danificar, contrariamente aos métodos destrutivos. O recurso a estes métodos proporciona não só a obtenção de resultados em laboratório, como também *in situ* (Carino e Clifton, 1982).

Neste capítulo, propõe-se um sistema classificativo das técnicas de diagnóstico associadas à caracterização de anomalias em coberturas em terraço, as quais serão integradas numa matriz de correlação, na sequência da construção do sistema de inspeção e diagnóstico proposto.

Os dados apresentados neste capítulo complementam as informações que se propõe que constem nas fichas de anomalias anteriormente destacadas, nomeadamente as técnicas de diagnóstico mais adequadas a cada anomalia, os aspetos a inspecionar e os parâmetros de classificação, que definem o nível de gravidade da ocorrência.

4.2 Classificação das técnicas de diagnóstico

A lista classificativa das técnicas de diagnóstico das coberturas em terraço apresentada no Quadro 4.1, é constituída por cinco grupos, de acordo com o tipo de execução e funcionamento do equipamento utilizado em cada uma das técnicas: análise visual, métodos elétricos, métodos termo-higrométricos e ensaios.

Relativamente a esta classificação, cabe ainda tecer algumas considerações. Foram descartados os ensaios laboratoriais, pois exigem equipamento e pessoal especializado, maiores custos, maior complexidade e tempos de execução, tal como já referido. Esta decisão prende-se com o facto de neste trabalho se pretender um método de inspeção e diagnóstico expedito. As técnicas utilizadas não são destrutivas apresentando por isso um custo inferior face às técnicas destrutivas. Prevê-se uma exceção, a fim de averiguar anomalias como “Ausência / posicionamento inadequado de camada”, onde se pode ter de recorrer a técnicas destrutivas.

No quadro classificativo, são uma vez mais apresentadas siglas identificativas de cada técnica, necessárias à construção da matriz de correlação entre as anomalias e as técnicas de diagnóstico.

Quadro 4.1 - Técnicas de diagnóstico propostas *in situ*

| D-A - Análise visual | D-B - Métodos elétricos | D-C - Métodos termo-higrométricos | D-D - Método nuclear | D-E - Ensaios de carga |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| D-A1 inspeção visual | D-B1 deteção elétrica de infiltração | D-C1 termografia de infravermelhos | D-D1 método nuclear | D-E1 ensaio de estanqueidade |
| D-A2 medição da inclinação | D-B2 teste da capacidade elétrica ou capacitância | | | |

É ainda de notar que a eficácia de todos estes métodos de diagnóstico, segundo a *Waterproofing Integrity Test Association* (WITA, 2012), depende essencialmente dos seguintes aspetos:

- ✓ experiência do operador na tarefa e no manuseamento do equipamento;
- ✓ correto funcionamento e calibração do equipamento;
- ✓ conhecimento, *a priori*, da constituição do sistema da cobertura e do seu suporte estrutural.

Relativamente aos ensaios *in situ* referidos, é de salientar que incluem uma grande variedade de testes e técnicas associadas à determinação de diversas características, dificultando uma classificação coerente e global destes ensaios. As técnicas de ensaio *in situ* podem ser classificadas em termos de (Flores-Colen et al., 2006):

- ✓ grau de destruição que provocam (destrutivas, semi-destrutivas e não destrutivas);
- ✓ existência ou não de solicitação artificial (passivas, também designadas de não invasivas, e ativas, também designadas de invasivas);
- ✓ princípios em que se baseiam (mecânicos, elétricos, magnéticos, eletromagnéticos, eletroquímicos, ultrassônicos, radioativos, sensoriais, térmicos, químicos, eletroquímicos, entre outros);
- ✓ tipo de resultados obtidos (propriedades a avaliar);
- ✓ tipo de tecnologia utilizada (baixa ou alta tecnologia);
- ✓ objetivos principais (exemplo: resistência, durabilidade, geometria);
- ✓ elementos a que se aplicam (exemplos: revestimento, suporte, ambos);
- ✓ atividades em que intervêm (controlo da qualidade, inspeção de edifícios, verificação da aplicação de regulamentos, entre outros).

Os ensaios *in situ* constituem um valiosíssimo meio auxiliar à inspeção visual e permitem uma melhor caracterização de (Flores-Colen et al., 2006):

- ✓ mecanismos de degradação existentes nos materiais ou elementos construtivos (por exemplo, sujidade, eflorescências, humidade, fissuração);
- ✓ variações das propriedades da componente ou elemento construtivo relacionadas diretamente com o seu desempenho (por exemplo, resistência mecânica, coeficiente de absorção de água);
- ✓ condições *in situ* (por exemplo, parâmetros ambientais).

4.2.1 Inspeção visual

Durante a inspeção, deverão ser verificadas e classificadas todas as anomalias encontradas em qualquer parte da cobertura, sendo que a observação e a análise das anomalias permitem realizar um primeiro diagnóstico baseado na experiência, intuição e observação do investigador.

Apesar de a inspeção visual ser, muitas das vezes, suficiente, não obstante deve ser conduzida de uma forma sistemática de modo a reduzir possíveis erros de avaliação (adaptado de Gonçalves, 2004).

O Quadro 4.2 sugere o que procurar numa inspeção visual sumária e sobre as anomalias que, frequentemente, aparecem associadas à origem desses problemas.

Quadro 4.2 - Inspeção visual: situações a ter em atenção e problemas associados em coberturas (Cóias, 2006)

| Situações a ter em atenção | Problemas associados e comentários |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estado geral | Uma cobertura bem cuidada reduz, normalmente, o número e a gravidade dos problemas no edifício. |
| Platibandas e parapeitos | A deterioração das paredes começa, frequentemente, por estes elementos. |
| Ralos, caleiras, algerozes e tubos de queda | A deterioração destes elementos é responsável por muitos problemas na construção. |
| Rufos e outros revestimentos com chapa metálica | A deterioração destes elementos é responsável por muitos problemas na construção. |

Muitos dos problemas encontrados numa cobertura são devidos à presença de humidade, a qual pode ser detetada através de uma inspeção visual desde que seja superficial. Se a humidade não se manifestar superficialmente, então a técnica da inspeção visual não será suficiente porque, apesar de a superfície se encontrar sem vestígios de humidade, o material em si encontra-se húmido (Carino e Clifton, 1982). No entanto, a simples observação pode ser complementada por um conjunto de observações adicionais, muito simples, não destrutivas ou reduzidamente intrusivas (Cóias, 2006).

Esta técnica de inspeção exige apenas um profissional utilizando alguns equipamentos auxiliares tais como: binóculos, máquina fotográfica, fita métrica, escada e equipamento de segurança, entre outros que se achar essenciais ao diagnóstico visual.

Importará referir que o diagnóstico obtido através da metodologia de inspeção visual é bastante dependente da percepção sensorial dos técnicos que realizam as peritagens / inspeções a determinados elementos construtivos. A principal fonte de informação sensorial é a visão (Cóias, 2006), mas poder-se-á aplicar outras impressões sensoriais tais como a audição, o olfato ou até mesmo o paladar (Flores-Colen, 2008):

- ✓ **avaliação tátil** - a passagem com a mão na superfície molhada permite avaliar a existência de pulverulência ou desagregação; as “costas” das mãos são mais sensíveis à deteção de humidade nos paramentos;
- ✓ **avaliação olfativa** - a existência de humidades elevadas em determinadas zonas pode ser detetada pelo olfato e numa base comparativa;
- ✓ **avaliação gustativa** - a menos usual por razões óbvias.

Este tipo de inspeção é limitado, muitas vezes, apenas às zonas acessíveis do edifício, que poderão ser muito reduzidas devido à ausência de meios de acesso. No entanto, estas inspeções apresentam as seguintes vantagens (Flores-Colen, 2008):

- ✓ o baixo custo associado e a rapidez de execução;
- ✓ a dispensa de equipamentos complexos ou dispendiosos e, principalmente, a eventual dispensa de outros meios complementares de diagnóstico (ensaios *in situ*, ensaios laboratoriais, entre outros);
- ✓ o facto de permitir avaliar a necessidade de recorrer a alguns testes complementares.

Em suma, a principal vantagem da aplicação de inspeção visual para o diagnóstico final encontra-se no nível da não destruição e simplicidade inerente. Contudo, uma das principais desvantagens destes métodos de inspeção visual reside na dependência da eficácia, no treino, experiência e perspicácia dos operadores, tal como da acessibilidade às coberturas, podendo os resultados ser, por inerência, subjetivos (adaptado de Cóias, 2006).

Frequentemente, as coberturas são locais de difícil acesso, pelo que a realização de inspeções acarreta riscos para a segurança e saúde de quem as executa. Garcez (2009) refere o método semi-aéreo, *Aerial Close-up Photography*, que foi desenvolvido para permitir a observação das coberturas e o registo fotográfico a partir do solo (Figura 4.1).

Este sistema apoia-se num veículo estacionado junto ao edifício equipado com um mastro extensível e uma câmara controlada remotamente que pode fotografar vastas áreas da cobertura com o detalhe e precisão. Para além de providenciar maior segurança ao inspetor, este método é rápido, de baixo custo e permite obter imagens de grande qualidade, importantes para a análise no local através do monitor ou para posteriores análises.



Figura 4.1 - Fotografia aérea. Fonte: <http://www.aerialcloseup.co.uk/property-surveying/roof-inspections>

4.2.2 Medição da inclinação

Esta técnica destina-se à medição da inclinação da pendente da cobertura. A medição pode ser efetuada recorrendo a uma régua de nível (Figura 4.2) ou a um inclinómetro (Figura 4.3).



Figura 4.2 - Medição da inclinação recorrendo à régua de nível. Fonte: acessibilidade-portugal.blogspot.com



Figura 4.3 - Inclinómetro Fonte: <http://www.archiproducts.com/pt/produtos/>

Os inclinómetros possuem um mostrador digital que apresenta instantaneamente a inclinação em várias unidades (graus, percentagem, entre outras) e são altamente resistentes às quedas e choques, tal como facilmente calibrados pelos próprios utilizadores. O aparelho eletrónico é colocado na superfície da camada e, após alguns segundos, apresentam a medição da inclinação da cobertura em terraço em relação à horizontal, em graus, e com a direção da pendente. É um método fácil de utilizar, com uma boa precisão (pode variar entre 0,5 a 0,1 graus, consoante a qualidade do modelo). Gibson e Hollis (1991) apresentavam como principal desvantagem o facto de não ser adequada a sua utilização para humidades relativas superiores a 80%, que hoje em dia já foi ultrapassado pela tecnologia.

Existem ainda aparelhos que recorrem à tecnologia laser para medição da inclinação (Figura 4.4) apresentando poucas limitações à sua utilização.



Figura 4.4 - Medidor de inclinações digital. Fonte: <http://www.bosch-professional.com/pt/pt/gim-60-l-24712-ocs-p/>

4.2.3 Detecção elétrica de infiltração (ELD)

O aparecimento deste método está datado do final do século XX encontrando-se diretamente associado à evolução tecnológica e à necessidade de criar alternativas ao método até então adotado, o ensaio de estanqueidade. Este método baseia-se na medição da variação da corrente elétrica induzida. O mesmo divide-se em duas vertentes: o método de baixa tensão e o método de alta tensão, de seguida descritos.

4.2.3.1 Método de baixa tensão

O método usa corrente contínua de baixa tensão para produzir um campo elétrico através da membrana de impermeabilização. O equipamento necessário consta de sondas (Figura 4.5), um gerador e um fio elétrico (Figura 4.6), para detetar alterações no campo elétrico causadas pela existência de água em locais de infiltração (WITA, 2012).

Em primeiro lugar, é estabelecida uma área de teste delimitada por um fio elétrico, de forma a isolá-la² da restante cobertura. Após a demarcação do local de inspeção, liga-se, simultaneamente, o gerador ao circuito anteriormente constituído e a um elemento da cobertura condutor³ (Figura 4.6), recorrendo a fios elétricos. De seguida, a superfície da membrana deve ser enxaguada de modo a que fique húmida e não saturada (Wilen, 2012a).



Figura 4.5 - Operador utilizando sondas. Fonte: <http://www.iranalyzers.com/VectorMappingBrochure.pdf>, consultado em 03/03/2015.

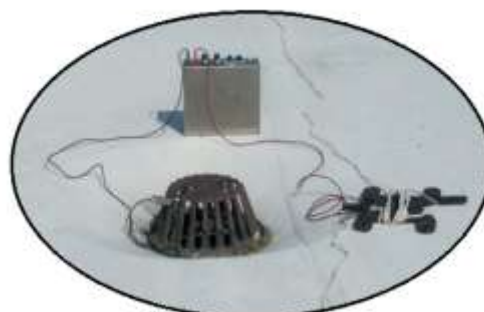


Figura 4.6 - Gerador com ligação simultânea a elemento da cobertura e circuito de fios condutores. Adaptado de Capolino (2004)

A Figura 4.7 ilustra o funcionamento do método de baixa tensão.

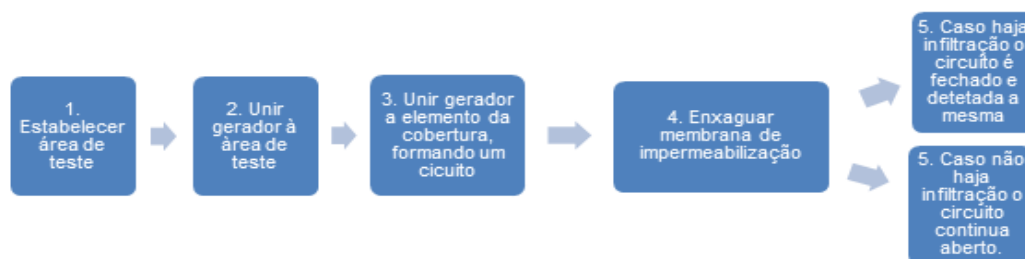


Figura 4.7 - Esquema de funcionamento do método de baixa tensão

Se houver uma infiltração na área de teste, a corrente elétrica será transmitida do gerador para a superfície molhada da membrana, de seguida passará pela zona infiltrada⁴ até ao suporte condutor da membrana e por fim retornará ao gerador, completando assim o circuito. As duas sondas são utilizadas para seguir o fluxo da corrente estabelecida de forma a achar o local exato da infiltração (Wilen, 2012a) (Figura 4.8).

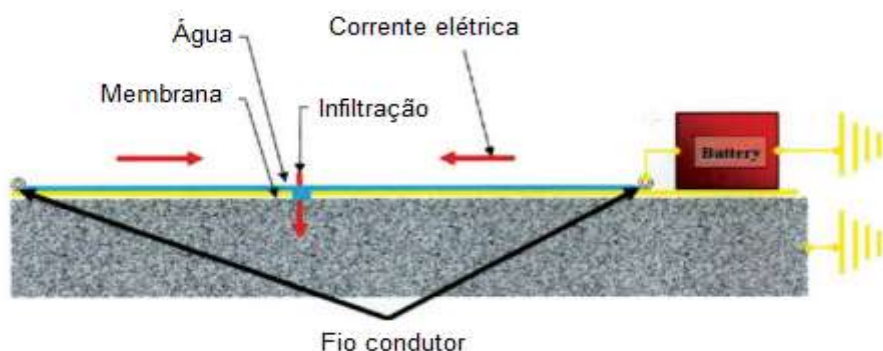


Figura 4.8 - Detecção eletrónica de infiltração (adaptado de Honza, 2010)

² É fundamental isolar a área de teste dos elementos circundantes como fixações metálicas ou elementos emergentes para que não se comprometa a integridade dos resultados obtidos.

³ Ralos ou sistema de suporte da cobertura, por exemplo.

⁴ Devido ao facto de a água ser um condutor elétrico, ocorre uma corrente elétrica.

Uma vez encontrado o local da infiltração deve isolar-se o mesmo colocando fio condutor em seu redor para poder continuar a inspeção sem interferências (Figura 4.9) (Thornton, 2001).



Figura 4.9 - Isolamento de uma infiltração através de um fio condutor (Thornton, 2001)

Wilen (2012a) salienta que, quando são encontradas várias roturas na membrana de impermeabilização, é importante que o operador saiba interpretar convenientemente as leituras fornecidas pelo gerador, porque o fluxo elétrico se irá propagar em várias direções. O método garante uma localização precisa de pontos de infiltração na membrana de impermeabilização e pode ser usado nas imediações de pontos singulares. Este método tem ainda a vantagem de se poder utilizar em praticamente todos os tipos de impermeabilização (WITA, 2012). Esta possibilidade está relacionada com facto de grande parte das membranas não serem condutores elétricos, tal como refere Ceja (2013).

Existe ainda a hipótese de utilização de outra variante deste método, recorrendo para isso a uma plataforma de inspeção, tal como sugere a Figura 4.10.

O funcionamento deste sistema é em tudo idêntico ao descrito, embora a uma escala mais reduzida pois neste caso a área de inspeção limita-se à área da plataforma. A constituição metálica da plataforma permite detetar fluxos de corrente elétrica à medida que o operador percorre a área da cobertura. Tal como no processo anterior, a superfície da membrana de impermeabilização deve estar molhada e a plataforma deve estar ligada ao suporte condutor da membrana, para que o circuito se estabeleça.



Figura 4.10 - Plataforma de inspeção (Wilen, 2012)

Como limitações, o método impõe que a membrana de impermeabilização não seja condutora elétrica⁵, enquanto o seu suporte deve ser um condutor elétrico. A própria membrana deve estar húmida, na área

⁵ Membranas com proteções metálicas ou com borracha de etileno-propileno-dieno (EPDM).

submetida ao teste (Thornton, 2001). Thornton (2001) acrescenta que o método é de difícil aplicabilidade quando da existência de vento.

Wilen (2012b) destaca ainda outras limitações relacionadas com a existência de barreira pára-vapor no sistema de cobertura o que pode impedir a formação do circuito elétrico e o facto de não poder testar áreas inacessíveis à plataforma.

Este método está atualmente instituído na legislação britânica, *National Building Specification* (NBA), e é aconselhado pelo *Royal Institute of British Architects* (RIBA), considerando-se assim uma alternativa viável.

4.2.3.2 Método de alta tensão

Segundo Ceja (2013), este é um método que tem vindo a ganhar popularidade nos últimos anos. Esta tecnologia permite detetar rápida e eficazmente roturas na membrana de impermeabilização (Figura 4.11).

Ao invés do método referido em 4.2.3.1, este utiliza corrente de alta tensão e realiza-se com todas as superfícies secas, sejam horizontais ou verticais. Este método tem como finalidade a procura de roturas no sistema de impermeabilização, pois, tal como refere Ceja (2013), se não existem roturas na membrana de impermeabilização que permitam a passagem de corrente elétrica, então também não existem roturas que permitam o aparecimento de infiltrações.

Para a concretização deste método, para além da superfície da membrana de impermeabilização na área de teste estar seca, a calibração do equipamento deve ser cuidadosamente efetuada, pois é essencial para evitar danos na membrana ou resultados adulterados (WITA, 2012).

Quanto ao seu funcionamento, do gerador partem dois fios sendo que o primeiro se liga à estrutura de suporte da cobertura e o segundo une-se ao elétrodo. À medida que o operador percorre o local de inspeção, se existir uma infiltração, o circuito entre o elétrodo e a estrutura de suporte é fechado criando um sinal sonoro emitido pelo gerador (Figura 4.12 e Figura 4.13).

Onde não existem infiltrações a membrana atua como isolante mantendo desta forma o circuito aberto.

Este método apresenta as seguintes limitações: não se pode utilizar em produtos que tenham asfalto na sua composição; não deteta defeitos nas juntas de sobreposição ou remates; necessita de estar exposto à água antes de ser utilizado; só funciona com as membranas de impermeabilização à vista e não pode ser utilizado em coberturas invertidas (Thornton, 2001). Este método não é totalmente eficaz quando utilizadas membranas EPDM, quando a superfície da membrana está gelada ou quando o sistema de impermeabilização é totalmente aderido (WITA, 2012).



Figura 4.11 - Método "seco" testando um remate com recurso a uma escova "elétrica". Fonte: <http://www.iranalyzers.com/VectorMappingBrochure.pdf>

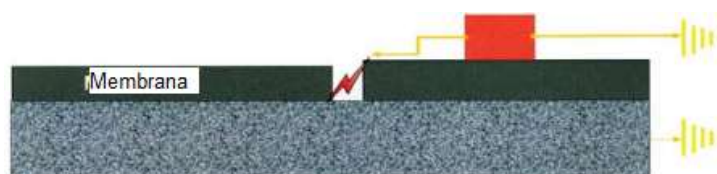


Figura 4.12 - Método "seco" com o circuito membrana-suporte fechado (adaptado de Honza, 2010)

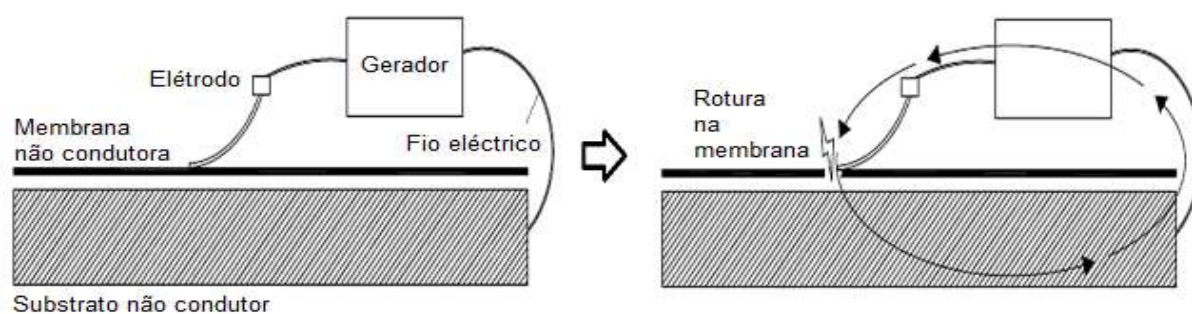


Figura 4.13 - Esquema de funcionamento do método "seco" (adaptado de Ceja, 2013)

Tal como método de baixa tensão, também tem a limitação relacionada com a existência da barreira pára-vapor, já descrita (Wilén, 2012b). Geralmente os resultados obtidos pelo método de alta tensão são menos fidedignos do que os obtidos pelo método de baixa tensão. A conjugação destes dois métodos permite alcançar resultados com maior grau de confiança (WITA, 2012).

Ambos os ensaios apresentam vantagens face a outros, como por exemplo, face ao ensaio de estanqueidade (Thornton, 2001):

- ✓ baixo impacte ambiental devido ao uso reduzido de água;
- ✓ rápidos resultados e redução dos prazos de entrega da obra;
- ✓ localização precisa das infiltrações;
- ✓ possibilidade de testar as reparações efetuadas, rapidamente;
- ✓ baixo custo;
- ✓ a estrutura é submetida a uma carga reduzida.

4.2.4 Teste da capacidade elétrica ou capacitância⁶

Este método baseia-se no princípio da alteração das propriedades elétricas de um material quando na presença de humidade e tem como objetivo a medição das mesmas propriedades, neste caso a capacitância (Carino e Clifton, 1982).

O método recorre à criação de um campo eléctrico de corrente alternada que percorre o material a ser testado. Quando se regista a existência de humidade, as propriedades eléctricas do material são alteradas, o que altera as características do campo eléctrico gerado aumentando a sua capacitância (Tobiasson e Korhonen, 1985). É através destas alterações no campo eléctrico que é detetada a presença de água. A intensidade do campo eléctrico, tal como a sensibilidade de sensor, pode variar consoante o substrato analisado. A capacitância será tanto maior quanto mais água existir, ou seja, um sistema de cobertura saturado apresentará um maior valor face a um seco (Matt, s.d.)

O aparelho apresentado na Figura 4.14, que dispõe de dois eléctrodos que emitem sinais de baixa frequência através da membrana e até ao substrato, é utilizado nas medições da impedância⁷ do material. A presença de água ou humidade nos materiais faz aumentar a medição da impedância registada no aparelho detetando assim, a existência de possíveis infiltrações (Roberts, 2006). Aquando da deteção de infiltrações, o aparelho emite um sinal visual e sonoro para que, seguindo o sinal de maior intensidade, se possa encontrar o local da infiltração. Existe ainda a possibilidade de uma inspeção contínua recorrendo ao "Dec Scanner". Este aparelho pesa menos

⁶ Corresponde à relação entre a quantidade de carga acumulada pelo corpo e o potencial eléctrico que o corpo assume em consequência disso.

⁷ A impedância é uma medida relacionada com a oposição à passagem de um fluxo. Varia inversamente com a capacitância.

de 10 kg e percorre toda a cobertura de forma autónoma registando os locais de possíveis infiltrações. O recurso ao “Dec Scanner” (Figura 4.15) tem a vantagem de poder cobrir grandes áreas em pouco tempo.



Figura 4.14 - Equipamento utilizado no teste de medição de capacitância, “Leek Seaker” (Capolino, 2004)



Figura 4.15 - “Dec Scanner” (Roberts, 2006)

Como limitações, este método apresenta as seguintes: só pode ser utilizado em membranas secas e não condutoras de eletricidade; indica apenas a zona provável de ocorrência de infiltrações e não o local específico, ao contrário dos métodos de deteção eletrónica; os materiais do sistema de impermeabilização não devem ser diferentes e devem ter espessuras aproximadas (adaptado de Roberts, 2006 e Capolino, 2004). Tobiasson e Korhonen (1985) salientam que é essencial que a superfície da membrana se encontre seca durante a inspeção, devido à elevada sensibilidade de leitura de equipamento.

Segundo Capolino (2004), para se obter uma melhor correlação entre as medições efetuadas pelo aparelho e a real quantidade de humidade presente no local testado, é importante recolher amostras do local afetado e analisar em laboratório. Depois desta análise, é possível calibrar o equipamento de forma a fornecer melhores resultados. Segundo o mesmo autor, existem situações em que o equipamento fornece resultados sobrestimados que, neste caso, não são devidos à existência de infiltração, mas sim devido à existência de condensações na membrana de impermeabilização. Existe ainda outro cuidado a ter na inspeção, referido por Tobiasson e Korhonen (1985), relativamente à interferência dos elementos de fixação das membranas (no caso de fixação mecânica). O facto de existirem fixações mecânicas adultera por completo as medições efetuadas pelo aparelho, necessitando por isso de redobrada atenção a fim de evitar a realização de testes nas imediações destas fixações.

Em suma, este método apresenta as seguintes vantagens (Carino et al., 1982):

- ✓ o clima não influencia de forma decisiva os resultados obtidos;
- ✓ fácil manuseamento do equipamento e transporte;
- ✓ baixo custo do equipamento.

Como desvantagens apresenta as seguintes (Carino et al., 1982):

- ✓ não determina as fronteiras exatas da anomalia;
- ✓ a cada ensaio só tem capacidade para testar uma área reduzida da cobertura;
- ✓ devido à sua natureza elétrica, os resultados do teste pode ser influenciado por agentes exteriores;
- ✓ as medições efetuadas por este método podem, por vezes, corresponder a errados valores quantidade de humidade presente nos materiais (Knab, 1981).

4.2.5 Termografia de infravermelhos

Trata-se de uma técnica de ensaio largamente utilizada na América do Norte, há mais de 30 anos, quer em inspeções estruturais, quer em inspeções de outras anomalias da construção.

O método de termografia de infravermelhos é baseado no princípio de que uma superfície molhada tem diferente taxa de emissão e receção de energia face a uma superfície seca. A superfície molhada tem significativamente mais massa e uma menor taxa de emissão de energia, o que significa que o processo de ganho e perda de calor é mais lento do que numa superfície seca. Os aparelhos de infravermelhos registam as diferentes temperaturas existentes no edifício. Estes equipamentos são utilizados para detetar os locais onde o isolamento é deficiente e onde ocorrem as perdas de calor mais relevantes. No entanto, estes aparelhos também podem ser utilizados para a deteção de infiltrações, humidade nos materiais ou na sua superfície. Nas coberturas em terraço, este método, adquire particular relevância na procura da origem das infiltrações.

O equipamento normalmente utilizado é uma câmara (Figura 4.16) que tem a capacidade de reproduzir imagens onde é possível identificar os locais onde existem infiltrações (Figura 4.17) (Capolino, 2004).

A imagem infravermelha deve ser acompanhada por uma medição térmica precisa, para poder refletir as condições reais de um objeto. A análise dos dados obtidos por inspeção termográfica é fundamental e deve ser baseada no conhecimento adquirido em formação especializada e consolidado com a experiência ao longo dos anos (NASA, 2000).



Figura 4.16 - Exemplo de uma câmara de termografia atualmente comercializada (Capolino, 2004)

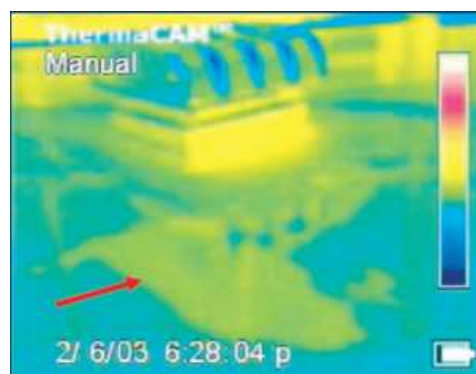


Figura 4.17 - Resultado de um teste de termografia de infravermelhos (Capolino, 2004)

Vários autores defendem que este teste seja realizado ao final do dia quando o exterior do edifício se encontra exposto à radiação solar, ou seja, mais quente do que o ambiente envolvente. Esta diferença de temperatura tem impacto direto nas cores apresentadas na imagem produzida pela câmara, tornando por isso o resultado mais esclarecedor. Tal como afirma Capolino (2004), os locais que tiverem água presente no seu interior absorverão mais energia do que as zonas secas, o que será visível na imagem apresentada pelo equipamento utilizado. É ainda possível calibrar o equipamento usado, em laboratório, tendo por base a análise de amostras recolhidas nas coberturas.

A termografia por infravermelhos tem inúmeras aplicações em edifícios. Pode ser utilizada para deteção de causas de anomalias verificadas visualmente, tal como pode ser empregue como instrumento de engenharia preventiva, descobrindo anomalias ainda não aparentes, mas já embrionárias (Figura 4.18). (Mendonça e ITC 2005).

Para além desta vantagem, salienta-se outras como: o equipamento de termografia por infravermelhos não emite qualquer tipo de radiação, apenas regista a radiação emitida pelo material; é uma técnica de teste de áreas, enquanto os outros métodos de ensaio, quer não destrutivos, quer destrutivos, são técnicas de ensaios em pontos localizados ou em linhas; permite apresentar uma imagem da superfície analisada, mostrando a

extensão das anomalias interiores detetadas. O seu uso é fácil, rápido e económico, resumindo-se a apontar o aparelho para o local que se quer analisar demonstrando de imediato as variações de temperatura latentes (Mendonça, 2005).

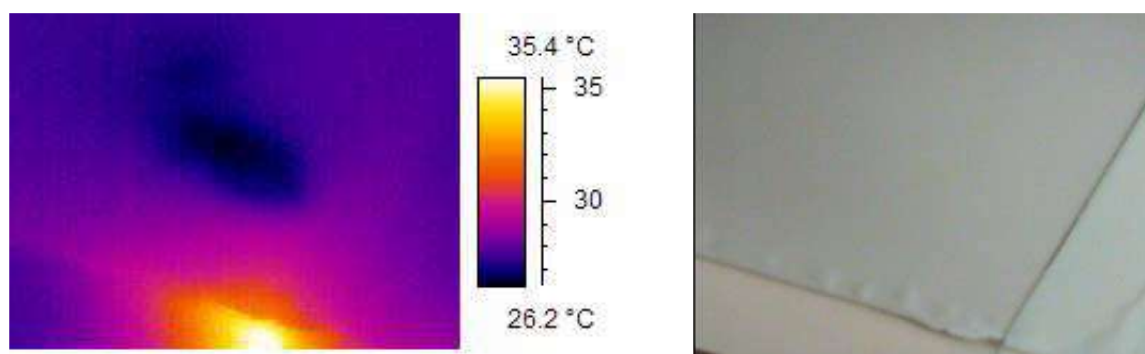


Figura 4.18 - Detecção de uma infiltração não visível (Mendonça, 2005)

Adicionalmente, a utilização de termografia para detetar a perda da integridade da membrana de uma cobertura é uma aplicação que pode fornecer retorno substancial do investimento inicial, minimizando a área de reparação. É possível que o custo da reabilitação de uma cobertura possa ser menos de metade, por m^2 , face a um novo sistema de cobertura (NASA, 2000).

Relativamente às limitações, Capolino (2004) refere as principais: o facto de os testes, por vezes, não serem realizados na altura ideal do dia, adulterando os resultados; após detetada uma infiltração, deve-se proceder à sua reparação num máximo de 24 h à luz do dia; a homogeneidade dos materiais, a sua espessura e a temperatura interior do edifício condicionam o resultado final.

Mendonça (2005) acrescenta: a profundidade e a extensão da anomalia detetada não podem ser determinadas. No entanto, nos casos em que tal seja importante, pode utilizar-se, seguidamente, ensaios por radar nas zonas específicas onde se determinaram os defeitos (Figura 4.19).



Figura 4.19 - Recurso a radar numa zona identificada pela termografia de infravermelhos (Mendonça, 2005)

A combinação destas duas técnicas permitirá uma excecional precisão, eficiência, economia e segurança. Apesar da simplicidade da recolha de dados, este ensaio requer alguma experiência para a análise dos resultados. Assim, não deve ser realizado nem analisado por pessoas sem formação específica em termografia infravermelha e sem conhecimentos na área da engenharia. Uma interpretação incorreta dos resultados pode subverter toda a realidade (Mendonça, 2005).

4.2.6 Método nuclear

O teste de medição nuclear é um método que utiliza leituras relativas que são interpretadas para localizar áreas com diferentes teores de humidade. O medidor nuclear emite um fluxo de neutrões de alta velocidade que colide com os átomos de hidrogénio⁸, perdendo alguma energia, e regressando de seguida ao medidor nuclear a uma menor velocidade. O medidor regista a velocidade desses neutrões recebidos e fornece resultados consoante uma escala calibrada. Uma medição, geralmente, tem a duração máxima de sessenta segundos para um raio máximo de 3 metros (Capolino, 2004).

O equipamento utilizado deve ser calibrado convenientemente conforme os diferentes sistemas de cobertura e tendo em atenção as espessuras das camadas empregues. As medições podem ser utilizadas para delimitar as áreas de inspeção facilitando desta forma o trabalho do inspetor (Figura 4.20 e Figura 4.21).

Ao contrário do método da termografia, este pode ser realizado em qualquer hora do dia, tal como em qualquer tipo de cobertura, permitindo uma imediata inspeção, identificação de anomalias e consequente reparação (Capolino e Matt, 2004).



Figura 4.20 - Área molhada delimitada (Capolino, 2004)

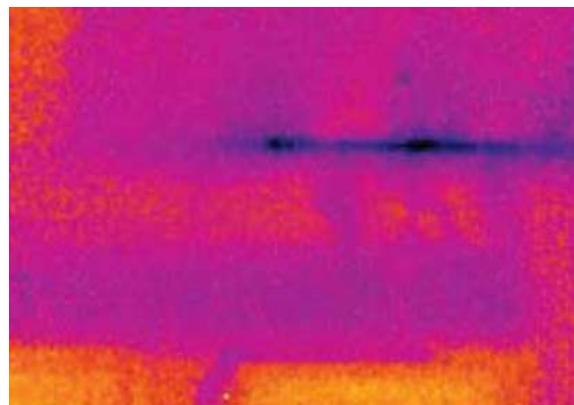


Figura 4.21 - Resultado do teste "Nuclear moisture testing" (Capolino, 2004)

As limitações estão relacionadas com o transporte de materiais radioativos, que requer licença, e, tal como no teste de medição de capacitância, as infiltrações devem ser encontradas de forma visual após a conclusão do teste (Capolino, 2004).

Matt (s.d.) refere que o emprego deste método pode ser condicionado caso algum dos componentes do sistema da cobertura tenha na sua constituição átomos de hidrogénio. Segundo o mesmo autor, esta situação não invalida por completo a sua utilização porque, aquando da deteção de água infiltrada, os valores medidos terão uma variação assinalável e perceptível. Apesar destas limitações, a grande desvantagem é a pequena área abrangida na execução do teste.

4.2.7 Ensaio de estanqueidade

O teste de estanqueidade é um dos testes mais básicos podendo igualmente ser o mais eficaz (Capolino, 2004). Por outro lado, a *Canadian Roofing Contractors' Association* (CRCA) (2007) recusa o recurso a este método afirmando que os riscos associados ao mesmo não são compensadores do benefício potencial do resultado final. A mesma entidade afirma que este método não fornece informação sobre a qualidade da conceção da

⁸ Relembra-se que uma molécula de água é constituída por dois átomos de hidrogénio e um átomo de oxigénio.

cobertura ou sobre a durabilidade dos materiais. O método fornece informação sobre a existência de infiltrações, se a quantidade de água aplicada em teste for adequada, mas para além disso não permite avaliar o seu comportamento a longo prazo, tal como não fornece indicações sobre a resistência do sistema de cobertura à ação do vento ou comportamento face à ação da temperatura.

Para a realização deste teste, o sistema de drenagem é selado, tipicamente durante 24-72 horas (ASTM, 1998), enquanto se enche a cobertura com água, formando uma lâmina de água com um mínimo de 2,5 centímetros de altura (Figura 4.22 e Figura 4.23) (Schwetz, 2014) (Capolino, 2004)⁹. Simultaneamente, a face inferior da cobertura no interior da habitação é inspecionada de forma a detetar eventuais infiltrações.

É fundamental a correta interpretação da estrutura que suporta a cobertura de forma a não exceder a capacidade de suportar a carga aplicada (pela lâmina de água). A capacidade de a estrutura suportar o peso exercido pela lâmina deve ser examinada por uma entidade credenciada de forma a não ocorrer o colapso da estrutura. A lâmina de água não só exerce força na vertical (peso), como também gera impulsos horizontais nos elementos de contorno, nomeadamente nas platibandas. Nestes elementos, é igualmente necessária uma verificação de segurança aos impulsos hidrostáticos (ASTM, 1998).



Figura 4.22 - Ensaio de estanqueidade em cobertura.
Fonte: <http://www.constructionspecifier.com/tag/roofing->



Figura 4.23 - Ensaio de estanqueidade em edifício

A concretização deste método apresenta algumas dificuldades, tais como: a demora no enchimento da cobertura com água, no teste e na drenagem da água após teste; dependendo da inclinação da cobertura, a água necessária para executar o teste pode aumentar, ou seja, para uma maior inclinação é necessária uma maior quantidade de água; relativamente à quantidade de água necessária, é imprescindível uma análise da mesma, tendo em conta a capacidade resistente da estrutura, como referido.

Neste contexto, é sempre possível a divisão da cobertura em áreas isoladas mais pequenas, testando-as individualmente. Uma vez terminado o teste, a água deve ser removida de forma segura e o sistema de drenagem desobstruído (Capolino, 2004).

Este teste tem ainda a desvantagem de, no caso de a membrana de impermeabilização não oferecer total estanqueidade, a água infiltrada poder alojar-se entre a membrana e o seu suporte (Figura 4.24), tal como Schwetz (2014) observou num caso de estudo de uma cobertura em terraço de um edifício construído no ano de 2007 em Nova York.

⁹ Segundo Capolino (2004), este teste deve realizar-se num período compreendido entre 12 e 48h.



Figura 4.24 - Humidade alojada entre a membrana de impermeabilização e o seu suporte (Schwetz, 2014)

4.3 Matriz de correlação anomalias - técnicas de diagnóstico

Após a identificação de uma anomalia em cobertura em terraço, através da consulta da matriz de correlação anomalias - técnicas de diagnóstico, consegue-se definir o método mais adequado em termos de extensão e gravidade.

Através desta matriz, é possível fornecer ao inspetor a informação relativa aos ensaios que possuem grande relação com as anomalias, por serem de fácil execução através de equipamento acessível, bem como listar ensaios de pequena relação, os quais se caracterizam pelo alto custo, elevada exigência técnica ou campo de aplicação reduzido. Existem, no entanto, anomalias que podem ser caracterizadas recorrendo apenas à observação visual não assistida, podendo assim ser parametrizadas sem que seja necessário executar qualquer ensaio *in situ* (Silvestre, 2008).

Na matriz de correlação anomalias - técnicas de diagnóstico apresentada (Quadro 4.3), na interseção de cada linha (anomalias) com cada coluna (método de diagnóstico) é inscrito um número, que representa o grau de correlação entre ambos, de acordo com o seguinte critério (Brito, 1992):

- ✓ **0 - SEM CORRELAÇÃO** - não existe qualquer relação entre a anomalia e a técnica de diagnóstico;
- ✓ **1 - PEQUENA CORRELAÇÃO** - técnica de diagnóstico adequada à caracterização de determinada anomalia, embora possua limitações, em termos de execução técnica ou de custo, que reduzem o espectro da sua aplicabilidade;
- ✓ **2 - GRANDE CORRELAÇÃO** - técnica de diagnóstico adequada à caracterização de determinada anomalia, cuja execução é de exigência técnica mínima e o equipamento necessário acessível, tornando a respetiva área de aplicação abrangente.

Como exemplo da relação entre as anomalias e as técnicas de diagnóstico referidas, são apresentados no Quadro 4.4 os vários ensaios que podem ser utilizados no diagnóstico da anomalia **A-G9 - Deficiências de inclinação / empoçamento**.

Após a conclusão da matriz de correlação para todas as anomalias, é possível definir a metodologia a seguir em cada uma das situações, permitindo assim planejar os meios humanos e materiais a afetar, para otimizar o prazo de execução da campanha de ensaios (Garcez, 2009).

Quadro 4.3 - Matriz de correlação anomalias - técnicas de diagnóstico

| | D-A1 | D-A2 | D-B1 | D-B2 | D-C1 | D-D1 | D-E1 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| A-G1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| A-G3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| A-G5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| A-G7 | 1*1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| A-G8 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G9 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2*4 | 0 | 0 |
| A-G10 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| A-G11 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G12 | 1*2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| A-S1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-S2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-S3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-S4 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-S5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-S6 | 1*3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-S7 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-S8 | 2 | 0 | 2*5 | 0 | 2 | 0 | 2 |

*1 Necessário recorrer a técnicas destrutivas.

*2 Não é possível para humidade de construção presente nos materiais e entre camadas do sistema de cobertura. Deve-se recorrer a outros métodos auxiliares, por exemplo à deteção elétrica ou termografia.

*3 Caso seja no isolamento térmico, terá de se recorrer a técnicas destrutivas.

*4 No caso do empoçamento.

*5 Só no método de baixa tensão.

Quadro 4.4 - Correlação entre os ensaios *in situ* e a anomalia A-G9 - Deficiências de inclinação / empoçamento

| FICHA DE CORRELAÇÃO ANOMALIAS-TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO | |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO DA ANOMALIA: A-G9 - Deficiências de inclinação / empoçamento | |
| ENSAIO | DESCRIÇÃO DO MÉTODO |
| D-A1* inspeção visual | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Colocação do equipamento de segurança pessoal; ✓ Deslocação até à cobertura; avaliação da cobertura em terraço através de observação direta auxiliada por outros equipamentos simples. |
| D-A2* medição da inclinação | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Colocação do aparelho sobre a superfície da cobertura e esperar pela medição da inclinação. |
| D-C1 termografia de infravermelhos | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aproveitando o aquecimento provocado pela radiação solar, observar as imagens termográficas obtidas através da câmara de infravermelhos; ✓ Registar as imagens recolhidas, para posterior interpretação e diagnóstico. |
| D-E1 ensaio estanqueidade | <ul style="list-style-type: none"> ✓ No caso do empoçamento: após a impermeabilização os tubos de queda deverão ser devidamente tamponados e a cobertura inundada para que fique completamente submersa. Assim se deverá manter durante 48 horas, a fim de se verificar alguma deficiência. |

*Grande correlação.


4.4 Fichas das técnicas de diagnóstico

Para a totalidade dos ensaios de diagnóstico descritos, foram construídas fichas individuais constituídas pelas seguintes informações:

- ✓ número da ficha de ensaio;
- ✓ figura ilustrativa do equipamento do ensaio;
- ✓ tipo de ensaio (destrutivo / não destrutivo);
- ✓ objetivos do ensaio;
- ✓ equipamento necessário;
- ✓ descrição do método;
- ✓ vantagens;
- ✓ limitações;
- ✓ referências bibliográficas.

Apresenta-se no Quadro 4.5 um exemplo de uma ficha de ensaio relativa à técnica **D-E1 - Ensaio de estanqueidade**.

Quadro 4.5 - Ficha de ensaio D-E1 - Ensaio de estanqueidade

| FICHA DE ENSAIO D-E1 | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| |  |
| DESIGNAÇÃO: | |
| Ensaio de estanqueidade | |
| DESTRUTIVO (D) / NÃO DESTRUTIVO (ND): | |
| ND | |
| OBJECTIVOS: | |
| Avaliar a estanqueidade a infiltrações | |
| EQUIPAMENTO NECESSÁRIO: | |
| Fonte de água para inundar a superfície da cobertura | |
| DESCRIÇÃO DO MÉTODO: | |
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ o sistema de drenagem é selado (normalmente até 48 h); ✓ enche-se a cobertura com água, constituindo uma lâmina de água com altura adequada à capacidade resistente da estrutura; ✓ verifica-se a face inferior da cobertura no interior da habitação, de forma a detetar eventuais infiltrações; ✓ no final do teste, toda a água é drenada. | |
| VANTAGENS: | |
| ✓ método simples de executar e eficaz. | |
| LIMITAÇÕES: | |
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ a demora no enchimento da cobertura com água, no teste e na drenagem da água após teste; ✓ desperdício de água; ✓ no caso de a membrana de impermeabilização não oferecer total estanqueidade, a água infiltrada pode alojar-se entre a membrana e o seu suporte. | |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: | |
| Capolino (2004); CRCA (2007); ASTM (1998); Schwetz (2014) | |

4.5 Síntese

Neste capítulo, foram apresentados os principais métodos de diagnóstico, *in situ*, passíveis de serem utilizados em coberturas em terraço, para caracterização das anomalias detetadas. Os métodos de diagnóstico apresentados são de execução bem conhecida e com resultados comprovados. Procedeu-se à construção de um sistema classificativo de métodos de diagnóstico, *in situ*, de anomalias em coberturas em terraço. Os métodos foram caracterizados e a informação associada aos mesmos encontra-se presente em fichas individuais de ensaio. Estas fichas englobam informação como a designação do método de diagnóstico, a tipologia (não destrutivo ou destrutivo), os objetivos, o equipamento necessário, a descrição do método e as vantagens e desvantagens dos diferentes métodos. As técnicas de diagnóstico foram relacionadas com as anomalias apresentadas em 3.2, resultando numa matriz de correlação anomalias-técnicas de diagnóstico. Pretende-se que o sistema proposto sirva de auxílio a futuras inspeções, de forma a facilitar a identificação das anomalias e a aumentar a eficiência deste processo, selecionando as técnicas mais adequadas às anomalias existentes, tendo em conta o equipamento existente, vantagens e limitações das respetivas técnicas.

5 Validação do sistema e análise estatística

5.1 Considerações iniciais

Com o objetivo de validar o sistema classificativo de anomalias proposto no capítulo 3, organiza-se neste capítulo uma série de dados que permitem, simultaneamente, aferir e calibrar os procedimentos adotados e as matrizes de correlação construídas.

Este capítulo, numa fase inicial, tem como objetivo a apresentação de toda a informação obtida nas inspeções efetuadas a um total de 105 coberturas com anomalias. Posteriormente procurar-se-á fazer a validação do sistema classificativo de anomalias em coberturas em terraço proposto, bem como a validação das matrizes de correlação teóricas. A eficácia da validação de qualquer sistema classificativo depende decisivamente da qualidade da amostra inspecionada e da quantidade de informação recolhida pelo que, quanto maior for a diversidade e a quantidade de dados recolhidos, maior será a representatividade do sistema e, consequentemente, maior a aplicabilidade do mesmo (adaptado de Garcia, 2006).

Toda a informação adquirida se encontra reunida em fichas de inspeção e validação nos anexos **5.I** e **5.II**.

Por fim, apresenta-se o tratamento estatístico dos dados recolhidos nas inspeções. Com esta análise, é possível extrair conclusões importantes sobre as diferentes anomalias que podem ocorrer em coberturas planas, assim como as causas prováveis que potenciam o seu aparecimento.

5.2 Plano de inspeções

No presente trabalho, realizou-se uma campanha de inspeções com o objetivo principal de validar o sistema classificativo proposto. Com a validação efetuada do sistema, pretende-se assim que o sistema de apoio à inspeção resultante deste trabalho auxilie da melhor forma as inspeções regulares (Pereira, 2008).

A realização de inspeções tem o objetivo de identificar as causas determinantes de cada anomalia e os sinais de pré-patologia, permitindo, durante a fase de utilização, aumentar a capacidade de detetar a necessidade de intervenção e assim reduzir o número de anomalias imprevistas (Morgado, 2012).

Através de inspeções e respetiva manutenção, é possível que os materiais em questão apresentem uma durabilidade semelhante à própria vida útil do edifício (Quadro 5.1).

As ações de manutenção de qualquer elemento construtivo pretendem corrigir pequenas deficiências decorrentes do uso, das ações exteriores e do envelhecimento natural dos materiais e elementos construtivos. A realização de ações de manutenção eficazes e com periodicidades adequadas permite minimizar a degradação prematura dos elementos construtivos durante a sua vida útil (Flores-Colen e Brito, 2010).

Neste caso em concreto, a campanha de inspeções realizada teve como principal objetivo validar o sistema classificativo proposto neste trabalho. A validação do sistema é fundamental, uma vez que permite a criação de um sistema de apoio à inspeção que auxilie as inspeções regulares a coberturas em terraço.

Silvestre (2005) realça que a eficiência das soluções de reparação de anomalias e de eliminação das causas das mesmas deverá ser avaliada através de inspeções pós-intervenção não periódicas (simultâneas com as inspeções correntes ou detalhadas), para se verificar o comportamento da mesma ao longo do tempo. Desta forma, poder-se-á detetar possíveis fenómenos de repatologia, devendo ser programada a respetiva reparação. Por esta razão, poder-se-á recomendar o emprego do conceito de manutenção pró-ativa (adaptado de Flores, 2002).

Quadro 5.1 - Valores máximos e mínimos das vidas úteis dos diversos elementos do sistema de cobertura (adaptado Morgado, 2012)

| Elementos | Material | Vida útil | | | |
|-------------------------------|-----------------------|---------------------|-------------|---------------------------------------|--------------------|
| | | HAPM E BFCLM (1999) | RICS (2001) | SCHNEIDER E KEENAN (1997); HED (1999) | NRCA e NAHB (2007) |
| Estrutura suporte | Madeira | 35 | 40 | - | 40 |
| | Betão armado | 30-35 | - | - | 30-35 |
| | Metálica | 30-35 | 30 | - | 40 |
| Camada impermeabilização | Asfalto | 35 | 36 | - | 25-35 |
| | Betume | 35 | 19 | 17 | 20 |
| | Plásticos | 30-35 | 27 | 10 | 25-35 |
| Camada de proteção | Mineral | 20-25 | 20-30 | - | 25 |
| | Sintético | 20-35 | 25 | 19 | 20-50 |
| | Metálico | 10-25 | 35-39 | - | 20 |
| | Madeira | - | 37 | - | - |
| Sistema de isolamento térmico | Mineral | 35 | 36 | - | 35 |
| | Vegetal | | | | |
| | Sintético | | | | |
| Sistema de drenagem | Metálico | 20-35 | - | - | 20-40 |
| | PVC | 10 | - | - | 30 |
| | Fibrocimento | 20-25 | - | - | |
| | Fibra de vidro | 20-30 | - | - | 50 |
| Sistema de remates | Metálicos | 15-35 | - | - | 20 |
| | Membranas betuminosas | | - | - | |
| Elementos de fixação | Metálicos | 20 | - | - | 20 |

5.2.1 Mapeamento das anomalias

Uma das ferramentas que se recomenda durante as inspeções é a utilização do mapeamento de anomalias em complemento às fichas de inspeção, uma vez que estas fichas não permitem por si só localizar com exatidão as anomalias identificadas.

O mapeamento consiste em determinar a incidência de cada anomalia em toda a sua extensão, bem como a gravidade da sua expressão, permitindo a definição de um projeto de reparação e de outros elementos construtivos degradados. Este procedimento, inicialmente através da simples observação visual (auxiliada pelas fotografias de cada anomalia presentes nas fichas de anomalia), deve ter como base as plantas dos edifícios e pode ser complementado por dados mais precisos após a execução de uma inspeção detalhada.

Na execução do mapeamento, deve ser preenchida uma malha simplificada (com quadrados de dimensão adequada à dimensão da cobertura) onde são identificadas as áreas afetadas pelas anomalias e a sua extensão, ou recorrendo a fotografias do local, onde devem ser assinaladas as mesmas anomalias (adaptado de Silvestre, 2005).

5.2.2 Fichas de inspeção

As fichas de inspeção têm como objetivo condensar informação sobre as inspeções a coberturas em terraço, nomeadamente as características do edifício e outras informações destinadas à caracterização das anomalias identificadas. Deste modo, as fichas de inspeção incluem os seguintes campos:

- ✓ cabeçalho com o número da ficha de inspeção, a data da inspeção, o responsável pela mesma e o objetivo da inspeção;
- ✓ para cada edifício:

- ✓ a localização, o tipo de utilização dominante, intervenções posteriores, o n.º de pisos acima do solo, o tipo de envolvente e a proximidade do mar (menos de 1 km, entre 1 e 5 km, mais de 5 km);
- ✓ para cada cobertura em terraço:
 - ✓ o acesso ao interior do edifício;
 - ✓ a área total e inclinação;
 - ✓ o tipo de cobertura (sem isolamento térmico, tradicional, invertida ou não é possível saber (N.S.));
 - ✓ tipo de utilização (acessível, não acessível);
 - ✓ tipo de proteção (pesada, leve, não existe);
 - ✓ material de isolamento térmico (mineral, sintético, não existe);
 - ✓ existência de fixação mecânica (no capeamento, nos remates, no isolamento térmico, não existe ou não se sabe);
 - ✓ existência de caminhos de circulação;
 - ✓ as singularidades existentes (platibandas, caleiras, soleiras, chaminés, elementos emergentes, tubos ladrão, juntas de dilatação, clarabóias, tubos de queda, equipamentos, guarda-corpos, áreas técnicas).
- ✓ para eventuais operações de manutenção efetuadas:
 - ✓ a tipologia implementada e a periodicidade das inspeções e/ou das intervenções efetuadas;
 - ✓ as características das intervenções efetuadas, como a data de execução, técnica utilizada e os respetivos materiais;
 - ✓ os meios de acesso existentes na cobertura do edifício para a realização das operações de vistoria / intervenção;
 - ✓ o registo de observações finais de inspeção.

Nos anexos **5.I** e **5.III**, apresenta-se, respetivamente, um exemplar de uma ficha de inspeção e um de uma ficha preenchida.

Em relação ao preenchimento das fichas durante as inspeções, ocorrem, por vezes, alguns problemas:

- ✓ dificuldade em obter informações, relativamente às intervenções anteriores e à própria constituição do sistema da cobertura;
- ✓ dificuldade em aceder ao interior dos edifícios a fim de analisar a existência de eventuais anomalias no interior do edifício;

Naturalmente que, por vezes, estas dificuldades impedem a recolha de informação preciosa para a análise de anomalias.

5.2.3 Fichas de validação

As fichas de validação, tal como a própria designação indica, destinam-se a validar o sistema de inspeção e diagnóstico proposto, sendo que, para tal, se criou uma ficha de validação para cada cobertura analisada. Nestas fichas, foi efetuado o registo das anomalias detetadas (sempre igual ou superior a uma, dado que só foram inspecionadas coberturas que apresentavam anomalias) de acordo com a classificação apresentada no capítulo 3. As anomalias foram ainda caracterizadas nas fichas de validação em função de vários parâmetros (apenas nos aplicáveis), como sejam:

- ✓ condições para que o fenómeno progrida;
- ✓ percentagem de área afetada;
- ✓ valor estético das áreas afetadas;

- ✓ estado de degradação;
- ✓ manchas de humidade;
- ✓ ocorrência de infiltrações;
- ✓ o fenómeno pode no curto / médio prazo vir a afetar o estado do revestimento de impermeabilização;
- ✓ materiais adequados;
- ✓ recobrimentos adequados nos remates;
- ✓ existência do elemento em questão;
- ✓ junta sobreelevada;
- ✓ largura de sobreposição suficiente;
- ✓ existência de ralos nas embocaduras;
- ✓ localização adequada;
- ✓ inclinação insuficiente;
- ✓ nível de gravidade.

Após a identificação das anomalias e dos respetivos parâmetros, foram assinaladas, *in situ*, as causas prováveis, diretas e indiretas, da ocorrência daquelas. Este procedimento tem por base o sistema classificativo apresentado no capítulo 3, bem como os respetivos métodos de ensaio, caracterizados no capítulo 4. A análise estatística e a validação do sistema classificativo, apresentadas posteriormente, têm por base toda a informação presente nestas fichas.

Nos Anexos **5.II** e **5.IV**, apresenta-se, respetivamente, um exemplar de uma ficha de validação e um de uma ficha preenchida.

5.3 Validação do sistema classificativo

O plano de inspeções realizado incluiu um total de 105 inspeções, durante as quais foram registadas informações relativamente à tecnologia construtiva das coberturas, condições de exposição, tipo de anomalias observadas e causas prováveis (diretas e indiretas) que possibilitaram o desenvolvimento do sistema classificativo de anomalias. Os dados recolhidos foram todos organizados numa base de dados (sistema operativo *Windows*, programa *Microsoft Excel*), não sendo comportável a sua apresentação na presente dissertação, tendo em conta o volume da informação armazenada.

Neste subcapítulo, tendo em conta as informações acima mencionadas, pretende-se validar o sistema classificativo apresentado nos capítulos 3 e 4, bem como todas as matrizes de correlação que foram construídas.

5.3.1 Validação do sistema classificativo das anomalias

Tendo em conta as 608 anomalias identificadas nas 105 inspeções realizadas, houve uma média de 5,8 anomalias / cobertura.

A Figura 5.1 apresenta as frequências absolutas e relativas das anomalias registadas no total de inspeções realizadas.

Através da observação deste gráfico, pode-se concluir que a anomalia **A-G8 - acumulação de detritos** é a que apresenta um maior número de ocorrências, representando 74,3% do universo total de coberturas inspeccionadas. Tal facto pode ser justificado pelas insuficientes ou inexistentes ações de manutenção.

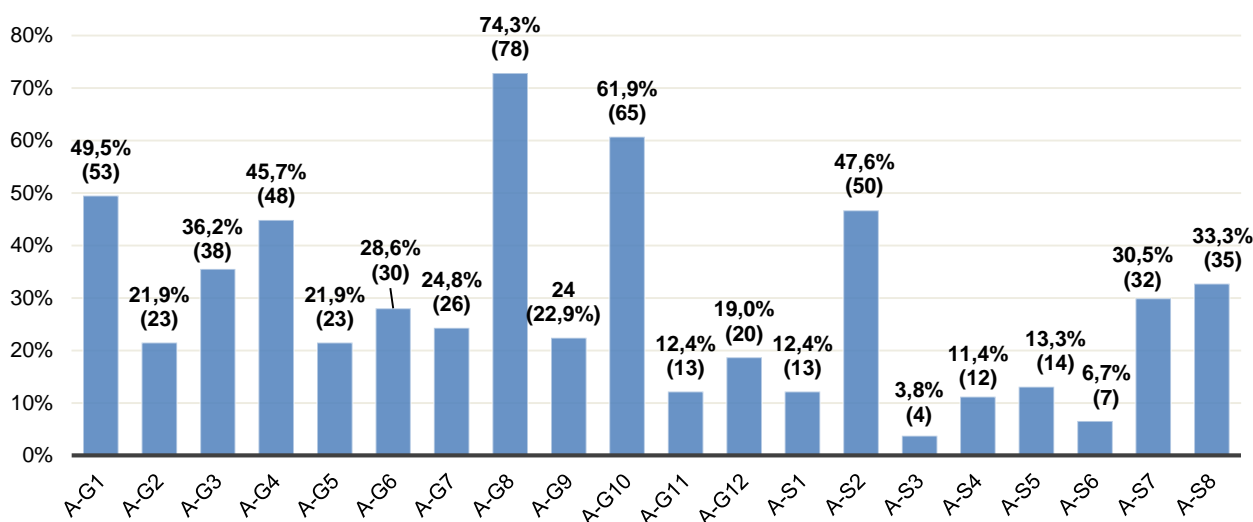


Figura 5.1 - Frequência absoluta e relativa das anomalias identificadas nas 105 inspeções realizadas

Seguidamente, apresenta-se com maior número de ocorrências a anomalia **A-G10 - colonização biológica** verificando-se em 61,9% dos casos. Mais uma vez, o aparecimento desta anomalia pode imputar-se, em parte, à falta ou à insuficiência de ações de manutenção; de realçar que a colonização biológica é altamente favorecida aquando da conjugação de dois fatores: presença de humidade e radiação solar, e também por esta razão regista um elevado número de ocorrências. O desgaste superficial (**A-G1**) verificou-se, aproximadamente, em 50% dos casos observados, o que seria de esperar pois o desgaste e envelhecimento das camadas é inevitável, sendo que a única forma de o controlar / minimizar é a escolha de materiais adequados à exposição solar ou resistentes ao desgaste. A inexistência / conceção inadequada de tubos de queda (**A-S2**) faz-se, igualmente, representar por uma elevada frequência, registando-se em 47,6% dos casos observados. Tal facto prende-se, na maioria das vezes, com a ausência de ralos na embocadura do tubo, o que facilitará o entupimento e consecutivamente a acumulação de detritos.

No que respeita às anomalias identificadas em menor número na amostra, destacam-se as **A-S6 - fixações deficientes** e **A-S3 - conceção inadequada de tubos ladrão**, tendo sido registadas em apenas 7 e 4 ocorrências, respetivamente. Este facto resulta da especificidade das mesmas e do número reduzido de inspeções efetuadas. Uma vez que estas anomalias foram identificadas em mais do que uma ocorrência considera-se conveniente que as mesmas continuem a ser consideradas na classificação proposta de anomalias realizada no capítulo 3.

5.3.2 Validação do sistema classificativo das causas

Na sequência da realização das inspeções às coberturas, foram registadas 1962 causas prováveis (diretas e indiretas) das 608 anomalias identificadas, resultando, em média, em 3,2 causas para cada anomalia. A Figura 5.2 apresenta a distribuição das causas prováveis associadas às anomalias encontradas no total das inspeções realizadas.

As Figuras 5.3 a 5.12 representam as frequências absolutas e relativas (correspondentes às absolutas divididas pelo total de causas identificadas) das causas registadas, por cada grupo classificativo.

O grupo classificativo das causas associadas a erros de execução corresponde à maior frequência registada (30%).

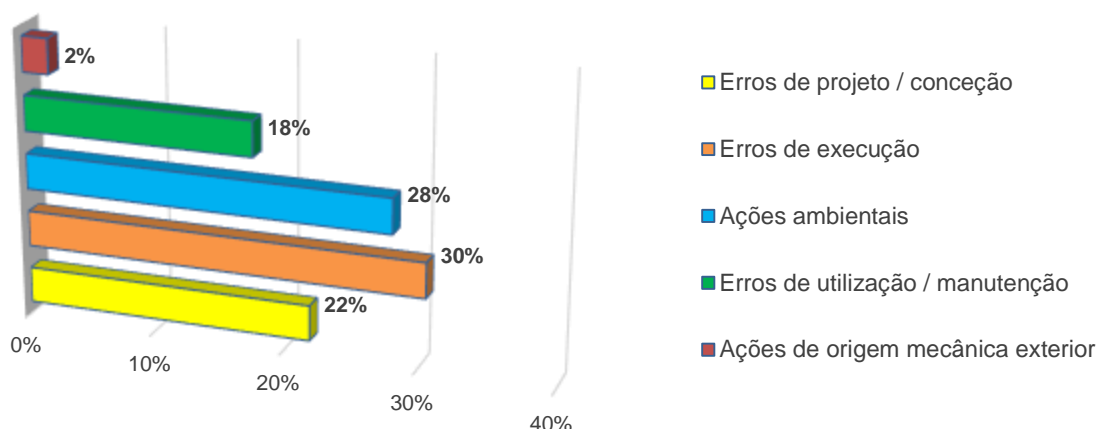


Figura 5.2 - Distribuição das causas prováveis observadas nas inspeções realizadas

A causa **C-E1 - falta de qualidade na mão-de-obra** é a que apresenta um maior número de registros, refletindo a falta de pessoal especializado na execução de tarefas específicas. É de salientar que os erros ao nível da execução em coberturas em terraço podem constituir, muitas das vezes, anomalias ou contribuir para o aparecimento de outras anomalias. A causa **C-E11 - deficiente colocação da membrana de impermeabilização** aparece em segundo lugar com o maior registo de ocorrências, estando intimamente relacionada com a causa anteriormente descrita, sendo, frequentemente, uma consequência desta. A deficiente execução de remates e elementos de proteção associados (**C-E4**) também apresenta um número elevado de ocorrência estando, mais uma vez, associada à falta de qualidade na mão-de-obra.

Quanto às causas que apresentam um menor número de registros, tem-se a **C-E3 - deficiente armazenamento / transporte de materiais**, a **C-E9 - deficiente execução de tubos ladrão** e a **C-E10 - deficiente fixação mecânica**. Relativamente à primeira causa, houve claramente, uma dificuldade na avaliação da mesma, pois não se acompanhou a fase inicial do transporte dos materiais, sendo esta só assinalada segundo informações transmitidas pelos donos de obra. Nas outras causas, registou-se uma dificuldade em assinalar as mesmas devido à dimensão da amostra estudada; veja-se que, apesar do seu baixo número de ocorrências, tal não implica a sua inexistência.

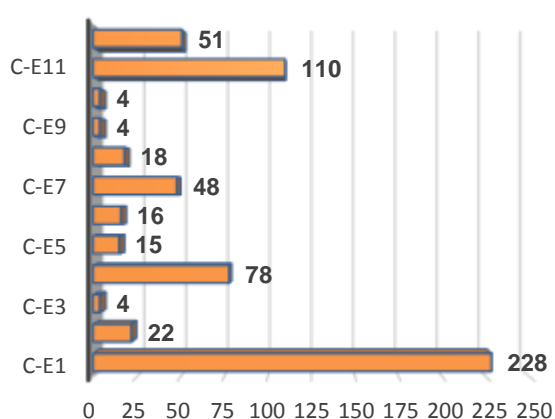


Figura 5.3 - Frequência absoluta das causas do grupo C-E identificadas nas 608 anomalias em coberturas planas

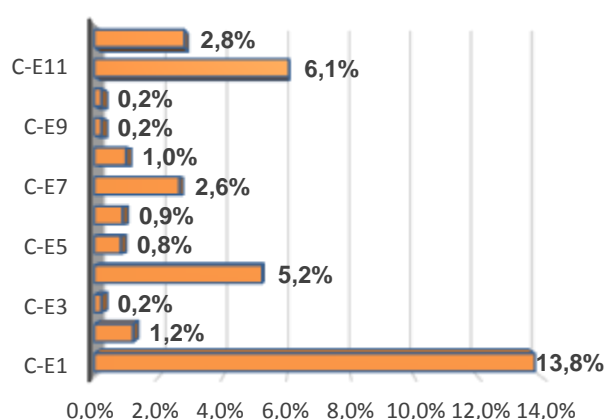


Figura 5.4 - Frequência relativa das causas do grupo C-E identificadas nas 608 anomalias em coberturas planas

O grupo classificativo das causas associadas a ações ambientais corresponde a 28% do total das assinaladas. A causa **C-A2 - radiação ultravioleta / solar** apresenta um registo de 8,8% do total das anomalias

identificadas. Com efeito, esta causa é, em grande parte, responsável pela degradação dos elementos constituintes da cobertura, para além de contribuir para o aparecimento de outras anomalias como a **A-G10 - colonização biológica**, que tem a segunda maior taxa de incidência (61,9%), e a **A-G1 - desgaste superficial** que se encontra em terceiro lugar, aparecendo em 50,5% das coberturas inspecionadas.

A causa **C-A3 - humidade** apresenta um registo de 6,3% do total das anomalias identificadas, estando associada ao aparecimento da anomalia **A-G4 - formação de pregas / empolamento** que ocorre 45,7% das vezes.

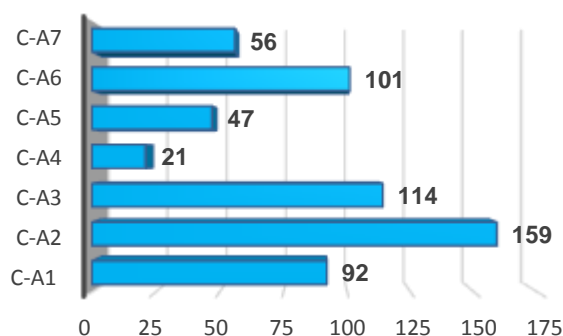


Figura 5.5 - Frequência absoluta das causas do grupo C-A identificadas nas 608 anomalias em coberturas planas

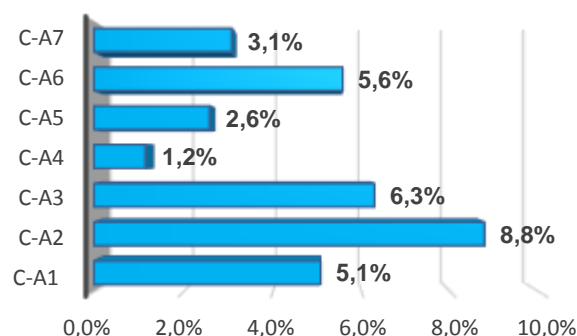


Figura 5.6 - Frequência relativa das causas do grupo C-A identificadas nas 608 anomalias em coberturas planas

As causas associadas a erros de utilização / manutenção (**C-U**) correspondem a 18% do total das causas assinaladas e destaca-se a causa **C-U3 - ausência / inadequada inspeção**, que representa 7,1% do total das anomalias identificadas. A inspeção deve ser efetuada periodicamente a fim de evitar problemas como o aparecimento de colonização biológica, presença prolongada de água / empoçamentos ou acumulação de detritos.

Dentro deste grupo classificativo de causas, existe uma que possui poucos registos em virtude de ser a causa específica de anomalia com reduzido número de ocorrências, ou seja, a causa **C-U4 - alteração do tipo de utilização da cobertura**. Como é evidente, percebe-se que o número de ocorrências se encontra intrinsecamente associado ao número de inspeções a coberturas em terraço. Com isto, considera-se que esta causa, tal como outras referidas, deve fazer parte da classificação proposta.

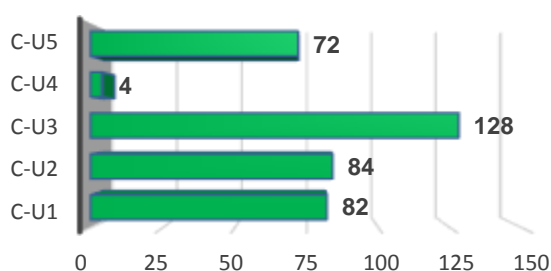


Figura 5.7 - Frequência absoluta das causas do grupo C-U identificadas nas 608 anomalias em coberturas planas

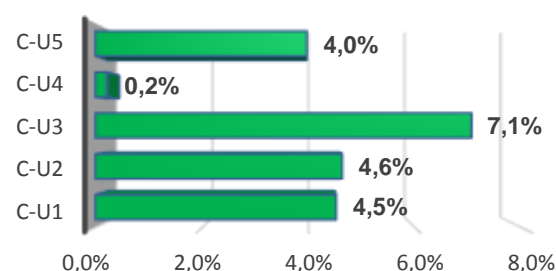


Figura 5.8 - Frequência relativa das causas do grupo C-U identificadas nas 608 anomalias em coberturas planas

O grupo classificativo das causas associadas a erros de projeto / conceção (**C-P**) corresponde a 22%. Neste caso, encontrou-se algumas dificuldades no registo deste tipo de causas, porque o acesso ao projeto da cobertura foi, na maioria das inspeções, impossível. Contudo, as causas que apresentam maior registo são a **C-P11 - escolha inadequada de materiais**, que tem elevado contributo para anomalias como o desgaste superficial (**A-G1**), fratura / rotura (**A-G2**) e fissuração (**A-G5**), e a **C-P8 - conceção / pormenorização deficiente de remates e elementos de proteção associados**, que contribui, de forma decisiva, para os remates deficientes (**A-S8**).

Por outro lado, a causa que apresenta menor número de ocorrências registadas é a **C-P9 - conceção / por-menorização de tubos ladrão** que, uma vez mais, se encontra dependente do número de inspeções a coberturas em terraço realizadas.

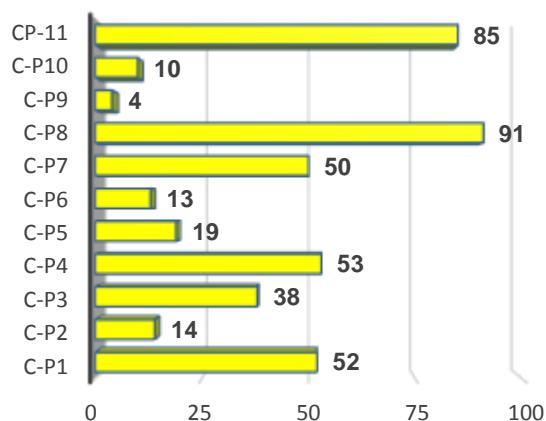


Figura 5.9 - Frequência absoluta das causas do grupo C-P identificadas nas 608 anomalias em coberturas planas

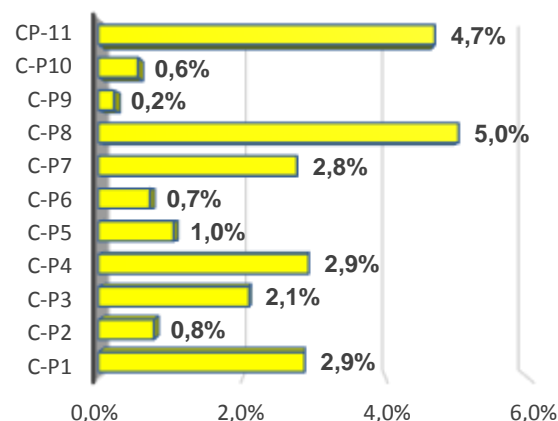


Figura 5.10 - Frequência relativa das causas do grupo C-P identificadas nas 608 anomalias em coberturas planas

Por fim, em relação ao grupo de causas relacionadas com ações de origem mecânica exterior, que representa 2% do total das causas assinaladas, são assinaladas as causas **C-M1 - cargas pontuais de natureza dinâmica (curta duração)** e **C-M2 - cargas pontuais de natureza estática (permanentes)**, com 1% e 1,2% respetivamente. Quanto às mesmas, é fundamental que o sistema de cobertura seja acondicionado, principalmente ao nível da colocação de equipamentos sobre as coberturas ou da prevenção da queda de objetos cortantes, a fim de não propiciar o aparecimento de perfurações (**A-G6**) ou fraturas / roturas (**A-G2**).



Figura 5.11 - Frequência absoluta das causas do grupo C-M identificadas nas 608 anomalias em coberturas planas

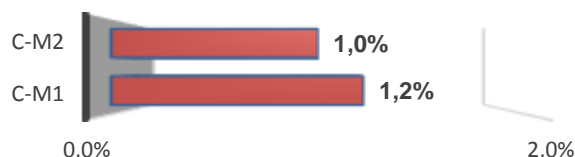


Figura 5.12 - Frequência absoluta das causas do grupo C-M identificadas nas 608 anomalias em coberturas planas

5.3.3 Validação do sistema classificativo dos métodos de diagnóstico

Relativamente aos métodos de diagnóstico utilizados *in situ* referidos no capítulo 4, a Figura 5.13 apresenta a frequência relativa dos métodos de diagnóstico registados, de forma a caracterizar pormenorizadamente as anomalias identificadas e/ou as respetivas causas prováveis.

Nas 608 anomalias identificadas, foi registado um total de 936 métodos de diagnóstico, o que resulta em 1,5 métodos de diagnóstico por anomalia.

Apesar da especificidade, tanto dos métodos de diagnóstico apresentados como do tipo de coberturas estudados, nota-se que todos os métodos de diagnóstico são passíveis de ser utilizados, uma vez que se registou pelo menos uma vez a possibilidade de serem empregues.

As baixas frequências dos métodos aplicados prendem-se com o facto de o seu grande objetivo ser a busca por infiltrações ou humidades. Desta forma a utilização destes métodos fica, quase na totalidade, restringida às situações em que se observou infiltrações, humidade ou violação da integridade do sistema de impermeabilização (como perfurações ou fratura / rotura). É importante referir que os métodos aqui enunciados não são de carácter destrutivo.

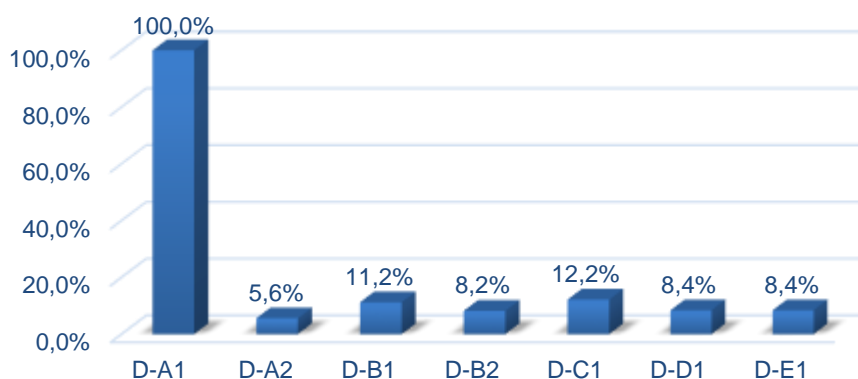


Figura 5.13 - Frequência relativa dos métodos de diagnóstico registados

Pela análise do gráfico, verifica-se que o método **D-A1 - inspeção visual** é o que apresenta, destacadamente, um maior número de registos abarcando o número total de anomalias. De facto, a inspeção visual foi definida como primeiro método na caracterização de todas as anomalias, recorrendo-se de seguida a métodos mais específicos, se possível ou aplicável.

O método **D-A2 - medição da inclinação** apresenta baixa frequência visto aplicar-se, unicamente, aos casos em que a pendente da zona corrente, do capeamento ou das caleiras é insuficiente.

O método **D-B1 - deteção eletrónica de infiltração** apresenta a terceira frequência mais elevada, justificada pelo facto de poder ser utilizado em pontos singulares (método de baixa tensão) e em quase todo o tipo de membranas à exceção das membranas EPDM. Por outro lado, este método (método de alta tensão) não fornece resultados totalmente fidedignos quando o sistema de membrana é totalmente aderido. Este método não foi proposto para utilização aquando da presença de ventos fortes, daí obter apenas a terceira frequência mais elevada.

O método **D-B2 - teste da capacidade elétrica ou capacitância** apresenta uma frequência relativa de 8,2%, justificando-se pelo facto de ser mais indicado para grandes áreas (*dec scanner*), mais eficaz a localizar condensações e não ser influenciado pelo clima; não obstante não é indicado aquando da presença de fixações mecânicas.

Quanto ao método **D-C1 - termografia de infravermelhos**, é o que apresenta a segunda frequência mais elevada, porque é o método com menos limitações. A diferença que se observa face aos outros métodos reside na capacidade de localizar falhas no isolamento térmico, na capacidade de análise dos pontos singulares e na sua utilização quando há acesso ao interior da habitação. Contudo, o clima é um fator perturbador para os resultados obtidos.

Em relação ao método **D-D1 - método nuclear**, registou-se em 8,4% das anomalias, pode ser utilizado independentemente da hora do dia ou clima, em áreas reduzidas, sendo que apresenta uma frequência ligeiramente diferente do método **D-B2** pois o primeiro permite a análise na presença de fixações mecânicas ao contrário do segundo.

Por fim, o método **D-E2 - ensaio de estanqueidade** pode ser utilizado sempre que haja infiltrações ou indícios de que estas possam ocorrer. No entanto, quanto maior a pendente do sistema de cobertura, mais difícil se torna a sua utilização pois há maior dispêndio tanto de água como de tempo.

5.3.4 Matriz de correlação anomalias - causas

Tendo em conta que nas inspeções foi assinalado o grau de contribuição da causa para a anomalia (direta ou indireta), utilizou-se um método simplificado para obter um valor comparável com o coeficiente teórico de

correlação (0 - sem relação, 1 - causa indireta, 2 - causa direta).

Deste modo, e assumindo que uma causa indireta pode corresponder a uma causa direta pouco provável, a uma causa indireta pouco provável ou a uma causa indireta provável, foi utilizado o algoritmo que a seguir se apresenta para se obter o grau de correlação entre anomalias e causas, C_{ac} , na amostra. Nas fórmulas apresentadas, f_1 corresponde à frequência relativa dos casos em que se assinalou o grau de correlação 1 (causa indireta) entre a anomalia e a causa e f_2 corresponde à frequência relativa dos casos em que se assinalou o grau de correlação 2 (causa direta) entre a anomalia e a causa (Silvestre, 2005).

$$(f_1 + f_2) \leq \frac{1}{3} \Rightarrow C_{ac} = 0 \quad (4)$$

$$(f_2 > f_1) \wedge \left(f_2 > \frac{1}{3}\right) \Rightarrow C_{ac} = 2 \quad (5)$$

$$\text{restantes casos} \Rightarrow C_{ac} = 1 \quad (6)$$

Após a conclusão do processo descrito, foi obtido o grau de correlação entre as anomalias e as causas da amostra, sendo posteriormente construída uma tabela, que se apresenta no anexo **5.V**, em que se compara as relações de correlação previstas de forma teórica e os valores obtidos no trabalho de campo.

É importante referir que, nesta tabela, são assinaladas a verde as situações em que existe concordância entre a previsão teórica e os resultados prático; a vermelho são assinalados os casos em que ocorre discrepância total (situação de uma causa supostamente direta, não tendo sido identificada como causa ou vice-versa), e os casos onde se registou ligeira discrepância são assinalados a branco (situação, por exemplo, de uma causa supostamente direta mas identificada como indireta)

Como seria de esperar, existem algumas discrepâncias entre as correlações teóricas e as práticas, pelo que devem ser analisadas, caso a caso, de modo a efetuar-se as correções devidas na respetiva matriz de correlação.

Os casos em que se regista uma discrepância ligeira ou total devem ser analisados individualmente, podendo implicar alterações na matriz de correlação proposta.

A análise efetuada aos índices de correlação anomalias - causas é apresentada no Quadro 5.2 e as alterações propostas à respetiva matriz encontram-se destacadas na própria matriz, apresentada no Quadro 3.1, do capítulo 3. No Quadro 5.2, relativamente às situações em que se registou uma discrepância ligeira, apenas foram analisados os casos onde foram implementadas alterações no índice de correlação.

5.3.5 Matriz de correlação anomalias entre si

As alterações à matriz de correlação anomalias - causas, decorrentes das inspeções realizadas, obrigaram também a ajustamentos na matriz de correlação das anomalias entre si e à obtenção de novos índices de correlação percentuais, $CI\%$ entre anomalias.

De forma a expor os resultados deste processo, elaborou-se uma tabela de dupla entrada (Quadro 5.3) onde a linha superior apresenta a frequência relativa de ocorrência das anomalias entre si na amostra, e na linha sob esta, o índice de correlação percentual das anomalias entre si, após as alterações propostas durante a validação do sistema.

Quadro 5.2 - Quadro resumo da análise dos casos discrepantes entre a matriz de correlação anomalias / causas prováveis teórica e a matriz correlação anomalias / causas prováveis obtida no trabalho de campo (grau de correlação teórico - C_t ; grau de correlação prático

| Anomalia (N.º de ocorrências) | Causa | C_t | C_a | Alteração a efetuar / justificação |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A-G1 desgaste superficial (53) | C-P10 dificuldade / impossibilidade de acesso aos paramentos | 1 | 0 | $C_t = 1$; embora esta causa tenha sido assinalada na amostra apenas 2 vezes como direta, considera-se que deve ser mantida a relação, no mínimo, indireta |
| | C-A4 presença prolongada de água / chuva | 1 | 0 | $C_t = 1$; embora esta causa nunca tenha sido assinalada na amostra, considera-se que deve ser mantida a relação indireta |
| | C-A7 ciclos de humedificação-secagem | 2 | 0 | $C_t = 1$; esta causa foi apenas assinalada 4 vezes como direta na amostra mas considera-se que deve ser, no mínimo, considerada com relação indireta |
| | C-U4 alteração do tipo de utilização da cobertura | 2 | 0 | $C_t = 2$; embora esta causa tenha sido assinalada na amostra apenas 2 vezes, considera-se que deve ser mantida a relação direta |
| A-G2 fratura / ruptura (23) | C-P1 conceção / pormenorização deficiente das camadas a aplicar | 1 | 0 | $C_t = 1$; embora esta causa só tenha sido assinalada 1 vez na amostra, considera-se que deve ser mantida a relação indireta |
| | C-P2 conceção / pormenorização deficiente das juntas de dilatação | 2 | 0 | $C_t = 1$; esta causa foi apenas assinalada 1 vez como direta na amostra mas considera-se que deve ser, no mínimo, considerada com relação indireta |
| | C-P10 dificuldade / impossibilidade de acesso aos paramentos | 1 | 0 | $C_t = 1$; embora esta causa nunca tenha sido assinalada na amostra, considera-se que deve ser mantida a relação indireta |
| | C-P11 escolha inadequada de materiais | 2 | 0 | $C_t = 2$; embora esta causa tenha sido assinalada na amostra apenas 3 vezes, como causa direta, considera-se que deve ser mantida a relação direta |
| | C-E5 deficiente execução da junta de dilatação | 2 | 0 | $C_t = 1$; esta causa foi apenas assinalada 1 vez como direta na amostra mas considera-se que deve ser, no mínimo, considerada com relação indireta |
| | C-E10 deficiente fixação mecânica | 2 | 0 | $C_t = 2$; apesar de esta causa apenas ter sido assinalada 1 vez na amostra, deve manter-se a relação direta |
| | C-A1 vento | 1 | 0 | $C_t = 1$; apesar de esta causa não ter sido assinalada na amostra, deve manter-se a relação indireta |
| | C-A5 vegetação | 2 | 0 | $C_t = 1$; esta causa foi apenas assinalada 1 vez como direta na amostra; no entanto, considera-se que deve ser, no mínimo, considerada com relação indireta |
| A-G3 descolamento / arrancamento (38) | C-P3 conceção / pormenorização deficiente da superfície / elementos emergentes | 1 | 0 | $C_t = 1$; esta causa foi assinalada como direta por 7 vezes na amostra, pelo que deve ser considerada, no mínimo, causa indireta |
| | C-P6 conceção / pormenorização deficiente das juntas de sobreposição | 2 | 0 | $C_t = 2$; apesar de esta causa não ter sido assinalada na amostra, deve manter-se a relação direta |
| | C-E1 falta de qualidade na mão-de-obra | 1 | 2 | $C_t = 2$; esta causa foi assinalada como direta por 14 vezes na amostra, pelo que deve ser considerada deste modo |
| | C-E6 deficiente execução das juntas de sobreposição | 2 | 0 | $C_t = 2$; apesar de esta causa ter sido assinalada na amostra apenas 3 vezes como causa direta, deve manter-se a relação direta |
| | C-E10 deficiente fixação mecânica | 2 | 0 | $C_t = 2$; apesar de esta causa não ter sido assinalada na amostra, deve manter-se a relação direta |
| A-G4 formação de pregas / empolamento (48) | C-P1 conceção / pormenorização deficiente das camadas a aplicar | 2 | 0 | $C_t = 2$; embora esta causa tenha sido assinalada como causa direta somente 2 vezes, considera-se que deve ser mantida a relação direta |
| | C-P2 conceção / pormenorização deficiente das juntas de dilatação | 2 | 0 | $C_t = 1$; embora esta causa não tenha sido assinalada na amostra, considera-se que deve ser, no mínimo, considerada com relação indireta |
| | C-E1 falta de qualidade na mão-de-obra | 1 | 2 | $C_t = 2$; esta causa foi assinalada como direta por 28 vezes na amostra, pelo que deve ser considerada deste modo |
| | C-E3 deficiente armazenamento / transporte de materiais | 2 | 0 | $C_t = 2$; embora esta causa tenha sido assinalada como causa direta somente 2 vezes, considera-se que deve ser mantida a relação direta |
| | C-E5 deficiente execução da junta de dilatação | 2 | 0 | $C_t = 1$; esta causa foi assinalada 1 vez; logo, considera-se como direta pouco provável |
| A-G5 Fissuração (23) | C-P1 conceção / pormenorização deficiente das camadas a aplicar | 2 | 0 | $C_t = 2$; embora esta causa só tenha sido assinalada na amostra 3 vezes, considera-se que deve ser mantida a relação direta |
| | C-P2 conceção / pormenorização deficiente das juntas de dilatação | 2 | 0 | $C_t = 1$; embora esta causa não tenha sido assinalada na amostra, considera-se que deve ser, no mínimo, considerada com relação indireta |
| | C-E5 deficiente execução da junta de dilatação | 2 | 0 | $C_t = 1$; embora esta causa não tenha sido assinalada na amostra, considera-se que deve ser, no mínimo, considerada com relação indireta |

| | | | | |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A-G6 perfuração (30) | C-P10 dificuldade / impossibilidade de acesso aos paramentos | 2 | 0 | C_t = 1 ; embora esta causa não tenha sido assinalada na amostra, considera-se que deve ser, no mínimo, considerada com relação indireta |
| | C-E10 deficiente fixação mecânica | 2 | 0 | C_t = 2 ; apesar de esta causa não ter sido assinalada na amostra, deve manter-se a relação direta |
| | C-A5 vegetação | 1 | 0 | C_t = 1 ; esta causa foi apenas assinalada 1 vez como indireta na amostra mas considera-se que deve manter a classificação |
| A-G8 acumulação de detritos (78) | C-P7 conceção / pormenorização deficiente da pendente | 2 | 0 | C_t = 1 ; esta causa foi assinalada 12 vezes; logo, considera-se como direta pouco provável |
| | C-E12 pendente deficiente | 2 | 0 | C_t = 1 ; esta causa foi assinalada 12 vezes; logo, considera-se como direta pouco provável |
| | C-U5 vandalismo | 1 | 2 | C_t = 2 ; esta causa foi assinalada 25 vezes como direta na amostra, devendo ser considerada desse modo |
| A-G10 colonização biológica (65) | C-P10 dificuldade / impossibilidade de acesso aos paramentos | 1 | 0 | C_t = 1 ; embora esta causa não tenha sido assinalada na amostra, considera-se que deve ser mantida a relação indireta |
| A-G11 corrosão (13) | C-A4 presença prolongada de água / chuva | 2 | 0 | C_t = 1 ; apesar de esta causa não ter sido assinalada na amostra, deve manter-se, no mínimo, a relação indireta |
| | C-U3 ausência / inadequada inspeção | 1 | 0 | C_t = 1 ; embora esta causa não tenha sido assinalada na amostra, considera-se que deve ser mantida a relação indireta |
| A-S2 conceção inadequada dos tubos de queda (50) | C-U5 vandalismo | 1 | 0 | C_t = 1 ; embora esta causa não tenha sido assinalada na amostra, considera-se que deve ser mantida a relação indireta, relativamente à ausência de ralos na embocadura do tubo de queda |
| A-S6 fixações deficientes (7) | C-P8 conceção / pormenorização deficiente de remates e elementos de proteção associados | 2 | 0 | C_t = 2 ; apesar de esta causa não ter sido assinalada na amostra, deve manter-se a relação direta |
| | C-E10 deficiente fixação mecânica | 2 | 0 | C_t = 2 ; apesar de esta causa ter sido assinalada apenas 1 vez como causa direta na amostra, deve manter-se a relação direta |
| A-S7 capeamento deficiente (32) | C-P7 conceção / pormenorização deficiente da pendente | 2 | 0 | C_t = 2 ; apesar de esta causa ter sido assinalada apenas 4 vezes como causa direta na amostra, deve manter-se a relação direta |
| | C-E12 pendente deficiente | 2 | 0 | C_t = 2 ; apesar de esta causa ter sido assinalada apenas 3 vezes como causa direta na amostra, deve manter-se a relação direta |

De acordo com a diferença percentual entre os índices de correlação, os resultados encontram-se assinalados por cores representativas dessas diferenças (adaptado de Silvestre, 2005):

- ✓ a branco, quando a diferença é menor ou igual a 10%;
- ✓ a verde, quando a diferença é maior do que 10% e menor do que 25%;
- ✓ a azul, quando a diferença é maior ou igual a 25% e menor do que 50%;
- ✓ a vermelho, quando a diferença é maior ou igual a 50%.

Pela análise do quadro e das cores representativas do grau de ajustamento, verifica-se que o ajuste é muito bom (diferença menor ou igual a 10%) em 69% dos casos, sendo bom (diferença entre 10 e 25%) em 19% dos casos, razoável (diferença entre 25 e 50%) em 10% dos casos e apenas 2% dos casos apresentam um mau ajuste (diferença maior do que 50%).

Uma vez que as relações apresentadas resultam diretamente dos graus de correlação apresentados na matriz anomalias - causas prováveis, anteriormente validados, não é possível efetuar alterações diretamente na matriz de correlação inter-anomalias, com vista a melhorar a qualidade do ajustamento.

Tendo em conta os resultados obtidos, considera-se bastante boa a matriz inter-anomalias proposta e adequada aos casos em que se pretende estimar a probabilidade de ocorrência simultânea das várias anomalias.

5.3.6 Matriz de correlação anomalias - técnicas de diagnóstico

Tendo em conta o sistema classificativo presente no capítulo 4 referente aos métodos de diagnóstico, para cada anomalia identificada nas inspeções efetuadas, foram assinalados os métodos de diagnóstico mais adequados para a caracterizar.

Tendo em vista a comparação dos resultados obtidos nas inspeções com a matriz de correlação anomalias - técnicas de diagnóstico apresentada também no capítulo 4, foi construída uma tabela de dupla entrada (Quadro 5.4) em que se apresenta na linha superior o grau de correlação teórico do método com a anomalia (0, 1 ou 2, conforme a relação é não existente, pequena ou grande) e, na linha imediatamente sob esta, a percentagem de casos inspecionados em que determinado método foi associado à anomalia em causa.

De forma a visualizar o ajuste entre a previsão teórica e o resultado das inspeções, dividiu-se os resultados por cores representativas do grau de ajustamento (Silvestre, 2005):

- ✓ a verde: $2 \geq 33\%$; $17\% \leq 1 \leq 50\%$; $0 \leq 17\%$;
- ✓ a branco: $17\% \leq 2 < 33\%$; $1 > 50\%$ ou $1 < 17\%$; $17\% < 0 \leq 33\%$;
- ✓ a vermelho: $2 < 17\%$; $0 > 33\%$.

Quadro 5.3 - Comparação entre as matrizes de correlação inter-anomalias (teórica e com base na amostra)

| | A-G1 | A-G2 | A-G3 | A-G4 | A-G5 | A-G6 | A-G7 | A-G8 | A-G9 | A-G10 | A-G11 | A-G12 | A-S1 | A-S2 | A-S3 | A-S4 | A-S5 | A-S6 | A-S7 | A-S8 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| A-G1 | | 67% | 0% | 0% | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 17% | 33% | 17% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| m.c. | | 64% | 23% | 27% | 64% | 14% | 0% | 18% | 0% | 27% | 23% | 23% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| A-G2 | 57% | | 0% | 7% | 71% | 29% | 0% | 0% | 0% | 14% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| m.c. | 39% | | 31% | 28% | 50% | 33% | 6% | 8% | 0% | 19% | 11% | 25% | 11% | 8% | 0% | 0% | 0% | 11% | 0% | 0% |
| A-G3 | 0% | 0% | | 40% | 0% | 0% | 10% | 10% | 10% | 0% | 0% | 20% | 40% | 10% | 10% | 20% | 40% | 40% | 50% | 80% |
| m.c. | 11% | 25% | | 32% | 14% | 14% | 9% | 9% | 9% | 5% | 5% | 34% | 18% | 7% | 5% | 5% | 36% | 36% | 25% | 39% |
| A-G4 | 0% | 6% | 44% | | 11% | 0% | 11% | 0% | 11% | 22% | 22% | 11% | 44% | 11% | 11% | 22% | 44% | 22% | 11% | 44% |
| m.c. | 17% | 28% | 39% | | 39% | 0% | 22% | 0% | 11% | 22% | 11% | 28% | 39% | 6% | 6% | 6% | 22% | 11% | 6% | 47% |
| A-G5 | 75% | 63% | 0% | 13% | | 0% | 0% | 0% | 0% | 13% | 25% | 13% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| m.c. | 58% | 75% | 25% | 58% | | 0% | 17% | 0% | 0% | 17% | 17% | 33% | 17% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| A-G6 | 0% | 33% | 0% | 0% | 0% | | 0% | 33% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| m.c. | 14% | 55% | 27% | 0% | 0% | | 0% | 32% | 0% | 14% | 0% | 27% | 0% | 9% | 0% | 0% | 0% | 18% | 0% | 0% |
| A-G7 | 0% | 0% | 33% | 33% | 0% | 0% | | 0% | 17% | 0% | 0% | 33% | 67% | 17% | 17% | 33% | 33% | 33% | 17% | 33% |
| m.c. | 0% | 25% | 50% | 100% | 50% | 0% | | 0% | 50% | 0% | 0% | 50% | 50% | 25% | 25% | 25% | 50% | 50% | 25% | 50% |
| A-G8 | 0% | 0% | 11% | 0% | 0% | 22% | 0% | | 0% | 33% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| m.c. | 11% | 8% | 11% | 0% | 0% | 18% | 0% | | 37% | 32% | 8% | 8% | 0% | 16% | 0% | 21% | 0% | 0% | 11% | 0% |
| A-G9 | 0% | 0% | 20% | 20% | 0% | 0% | 10% | 0% | | 0% | 0% | 0% | 20% | 10% | 10% | 100% | 20% | 20% | 10% | 20% |
| m.c. | 0% | 0% | 17% | 17% | 0% | 0% | 17% | 58% | | 25% | 0% | 0% | 17% | 8% | 8% | 58% | 17% | 17% | 42% | 17% |
| A-G10 | 13% | 13% | 0% | 25% | 13% | 0% | 0% | 38% | 0% | | 25% | 13% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| m.c. | 25% | 29% | 8% | 33% | 17% | 13% | 0% | 50% | 25% | | 29% | 21% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| A-G11 | 50% | 0% | 0% | 50% | 50% | 0% | 0% | 0% | 0% | 50% | | 50% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| m.c. | 42% | 33% | 17% | 33% | 33% | 0% | 0% | 25% | 17% | 58% | | 58% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| A-G12 | 20% | 0% | 40% | 20% | 20% | 0% | 20% | 0% | 0% | 20% | 40% | | 10% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 40% | 40% |
| m.c. | 15% | 26% | 44% | 29% | 24% | 18% | 12% | 9% | 0% | 15% | 21% | | 0% | 3% | 0% | 0% | 12% | 24% | 24% | 24% |
| A-S1 | 0% | 0% | 44% | 44% | 0% | 0% | 22% | 0% | 11% | 0% | 0% | 6% | | 11% | 11% | 22% | 44% | 22% | 11% | 44% |
| m.c. | 0% | 25% | 50% | 75% | 25% | 0% | 25% | 0% | 25% | 0% | 0% | 0% | | 13% | 13% | 13% | 50% | 25% | 13% | 50% |
| A-S2 | 0% | 0% | 20% | 20% | 0% | 0% | 10% | 0% | 10% | 0% | 0% | 0% | 20% | | 10% | 20% | 20% | 20% | 10% | 20% |
| m.c. | 0% | 0% | 25% | 17% | 0% | 17% | 17% | 50% | 17% | 0% | 0% | 8% | 17% | | 8% | 8% | 17% | 17% | 8% | 17% |
| A-S3 | 0% | 0% | 20% | 20% | 0% | 0% | 10% | 0% | 10% | 0% | 0% | 0% | 20% | 10% | | 20% | 20% | 20% | 10% | 20% |
| m.c. | 0% | 0% | 20% | 20% | 0% | 0% | 20% | 0% | 20% | 0% | 0% | 0% | 20% | 10% | | 10% | 20% | 20% | 10% | 20% |
| A-S4 | 0% | 0% | 20% | 20% | 0% | 0% | 10% | 0% | 50% | 0% | 0% | 0% | 20% | 10% | 10% | | 20% | 20% | 10% | 20% |
| m.c. | 0% | 0% | 11% | 11% | 0% | 0% | 11% | 44% | 78% | 0% | 0% | 0% | 11% | 6% | 6% | | 11% | 11% | 50% | 11% |
| A-S5 | 0% | 0% | 50% | 50% | 0% | 0% | 13% | 0% | 13% | 0% | 0% | 0% | 50% | 13% | 13% | 25% | | 25% | 13% | 50% |
| m.c. | 0% | 0% | 100% | 50% | 0% | 0% | 25% | 0% | 25% | 0% | 0% | 25% | 50% | 13% | 13% | 13% | | 25% | 13% | 50% |
| A-S6 | 0% | 0% | 100% | 50% | 0% | 0% | 25% | 0% | 25% | 0% | 0% | 0% | 50% | 25% | 13% | 13% | 13% | 25% | 63% | 75% |
| m.c. | 0% | 25% | 100% | 25% | 0% | 25% | 25% | 0% | 25% | 0% | 0% | 50% | 25% | 13% | 13% | 13% | 25% | | | |
| A-S7 | 0% | 0% | 100% | 20% | 0% | 0% | 10% | 0% | 10% | 0% | 0% | 40% | 20% | 10% | 10% | 20% | 20% | 60% | | 100% |
| m.c. | 0% | 0% | 55% | 10% | 0% | 0% | 10% | 20% | 50% | 0% | 0% | 40% | 10% | 5% | 5% | 45% | 10% | 50% | | 55% |
| A-S8 | 0% | 0% | 89% | 44% | 0% | 0% | 11% | 0% | 11% | 0% | 0% | 22% | 44% | 11% | 11% | 22% | 44% | 44% | 56% | |
| m.c. | 0% | 0% | 94% | 44% | 0% | 0% | 22% | 0% | 22% | 0% | 0% | 44% | 44% | 11% | 11% | 11% | 44% | 67% | 61% | |

Quadro 5.4 - Comparação entre as matrizes de correlação, teórica e com base na amostra, entre anomalias e métodos de diagnóstico

| | D-A1 | D-A2 | D-B1 | D-B2 | D-C1 | D-D1 | D-E1 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|
| A-G1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G1 amostra | 100% | | | | | | |
| A-G2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| A-G2 amostra | 100% | | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| A-G3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G3 amostra | 100% | | | | | | |
| A-G4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G4 amostra | 100% | | | | 100% | | |
| A-G5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| A-G5 amostra | 100% | | | | 0% | | |
| A-G6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G6 amostra | 100% | | | | | | |
| A-G7 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| A-G7 amostra | 100% | | | | 100% | | |
| A-G8 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G8 amostra | 100% | | | | | | |
| A-G9 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| A-G9 amostra | 100% | 100% | | | 100% | | |
| A-G10 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| A-G10 amostra | 100% | | | | 0% | | |
| A-G11 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-G11 amostra | 100% | | | | | | |
| A-G12 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| A-G12 amostra | 100% | | 100% | 95% | 100% | 100% | 100% |
| A-S1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-S1 amostra | 100% | | | | | | |
| A-S2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-S2 amostra | 100% | | | | | | |
| A-S3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-S3 amostra | 100% | | | | | | |
| A-S4 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-S4 amostra | 100% | 67% | | | | | |
| A-S5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-S5 amostra | 100% | | | | | | |
| A-S6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-S6 amostra | 100% | | | | | | |
| A-S7 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A-S7 amostra | 100% | 6% | | | | | |
| A-S8 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 |
| A-S8 amostra | 100% | | 100% | | 100% | | 0% |

Pela análise do Quadro 5.4 e das cores representativas do grau de ajustamento, verifica-se que o ajuste é muito bom (a verde) em 96%. Observa-se ainda que, em 4% dos casos, o ajuste é fraco, correspondendo sobretudo ao método **D-C1 - termografia de infravermelhos**, associado às anomalias **A-G4 - formação de**

pregas / empolamento, A-G5 - fissuração e A-G10 - colonização biológica. Relativamente à primeira anomalia, o valor teórico deve ser alterado para 2, visto que com este método é possível localizar humidades entre as membranas de impermeabilização ou entre estas e o seu suporte. Relativamente à segunda anomalia, o valor teórico deve ser alterado para o valor 0 uma vez que durante a campanha de inspeções nunca foi registado este método para tal anomalia. Quanto à terceira anomalia deve manter-se o valor 2 (teórico) apesar de não se ter registado nenhuma vez o método, porque a imagem fornecida por esta tecnologia permite diferenciar, através do calor emanado, a colonização biológica da sua envolvente. Cabe ainda esclarecer que a utilização deste método para análise da existência do isolamento térmico apenas se restringe a isso mesmo e não se encontra relacionada com fenómenos de degradação.

No método **D-A2 - medição da inclinação**, face à anomalia **A-S7 - capeamento deficiente**, também se encontra uma discrepância. No entanto, o valor teórico (2) deve manter-se uma vez que a quantidade de inspeções não serviu para obter a validação do valor teórico.

Por fim, o método **D-E1 - ensaio de estanqueidade** apresenta outra discrepância face à **anomalia A-S8 - remates deficientes**, onde deve ser mantido o valor teórico apesar de não se ter registado nenhuma ocorrência, visto que o objetivo do método é localizar infiltrações, seja em superfície corrente ou em pontos singulares.

5.4 Análise estatística

Após o sistema classificativo proposto ter sido validado, apresenta-se um tratamento estatístico relativo aos dados recolhidos durante as inspeções realizadas. Com isto, pretende-se obter informações e conclusões através do cruzamento da informação recolhida, de forma a complementar o sistema classificativo.

O plano de inspeções realizado consistiu num total de 608 anomalias registadas, distribuídos por 105 coberturas em terraço. Não foi realizado qualquer tipo de ensaio *in situ* ou em laboratório.

A restante caracterização da amostra, nomeadamente dos dados recolhidos nas fichas de inspeção, encontra-se na dissertação de Poça (2015) que complementa este trabalho.

Em suma, foram identificadas 608 anomalias, perfazendo uma média de 5,8 anomalias por cobertura inspeccionada; 1962 causas perfazendo uma média de 3,2 causas por anomalias e 936 métodos de diagnóstico com uma média de 1,5 métodos de diagnóstico associados a cada anomalia.

5.4.1 Frequência observada das anomalias

Com base na classificação proposta no capítulo 3, apresenta-se na Figura 5.14 a percentagem de ocorrência de cada uma das anomalias na sua amostra total verificada nas coberturas em terraço inspeccionadas. As anomalias **A-G8 - acumulação de detritos** e **A-G10 - colonização biológica** são as que apresentam maior probabilidade (superior a 10%) de serem observadas durante uma eventual inspeção, pelas razões referidas em 5.3.1. Seguidamente, apresentam-se com maiores frequências as anomalias **A-G1- desgaste superficial** (8,7%), **A-S2 - conceção inadequada de tubos de queda** (8,2%) e **A-G4 - formação de pregas / empolamento** (7,9%).

A falta de ações de limpeza contribui, em larga escala, para o aparecimento e agravamento das anomalias **A-G8 - acumulação de detritos** e **A-G10 - colonização biológica**. A última é facilmente originada pela conjugação de humidade com radiação solar. Também por estas razões, seria de esperar que ambas as anomalias apresentassem maiores frequências, o que se veio a verificar. Em relação ao desgaste superficial (**A-G1**), seria de esperar, igualmente, uma elevada frequência, visto que a radiação solar é o principal agente interveniente no processo, a par da escolha inadequada de materiais. Tal facto reflete, por vezes, a pouca

importância que se tem na altura da conceção das camadas a aplicar no sistema da cobertura. Por sua vez, a conceção inadequada de tubos de queda (**A-S2**) indicia a sua deficiente execução e pormenorização, faltando, na maioria das vezes, a colocação de ralos na embocadura ou rebaixamento da zona adjacente ao tubo de queda, denunciando a falta de conhecimentos técnicos por parte dos executantes. A formação de pregas / empolamento (**A-G4**) também se verificou um considerável número de vezes. Este aparecimento pode justificar-se com a não adoção de coberturas invertidas ou proteção pesada (onde este problema não existe), a falta de qualidade de mão-de-obra na aplicação da membrana de impermeabilização ou a sua aplicação em tempo chuvoso. Este fenómeno tem como principais percussores a humidade e a radiação solar que, atuando em conjunto, dão origem à anomalia.

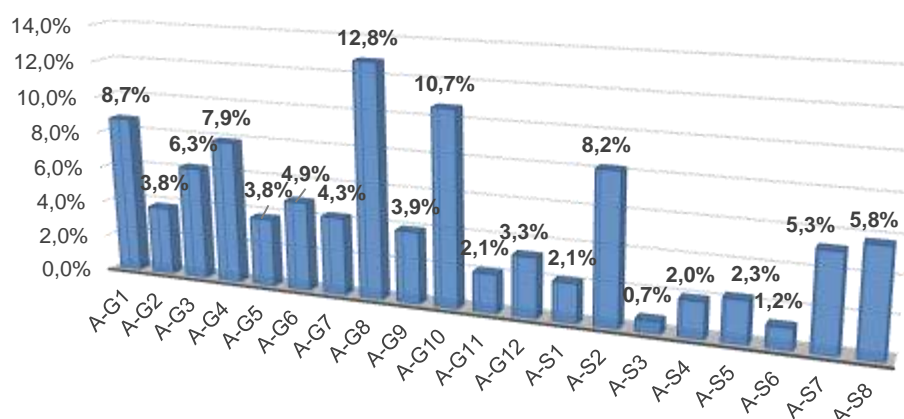


Figura 5.14 - Contribuição relativa de cada anomalia na amostra total

Por outro lado, as anomalias **A-S3 - conceção inadequada de tubos ladrão** e **A-S6 - fixações deficientes** apresentam as probabilidades de ocorrência mais baixas, respetivamente 0,7% e 1,2%. Por outro lado, a segunda anomalia é somente característica de alguns tipos de sistemas de cobertura (como referido em 2.5.2.) ou tipo de remates (com rufo).

Visto grande parte das anomalias terem sido registadas ao nível do revestimento de impermeabilização, decidiu-se fazer o levantamento das anomalias consoante o tipo de revestimento inspecionado. Para tal, apresenta-se na o número médio de anomalias encontrado nos diferentes tipos de revestimentos de impermeabilização inspecionados. A média de anomalias foi calculada dividindo o número total de anomalias no revestimento de impermeabilização pelo número total de revestimentos desse tipo na amostra.

Por observação da figura, pode-se concluir que nas membranas betuminosas ocorre um maior número médio de anomalias. É de realçar que, apesar de o número de membranas líquidas inspecionadas (11) ser bastante inferior ao número de membranas betuminosas inspecionadas (86), as médias se encontram relativamente próximas.

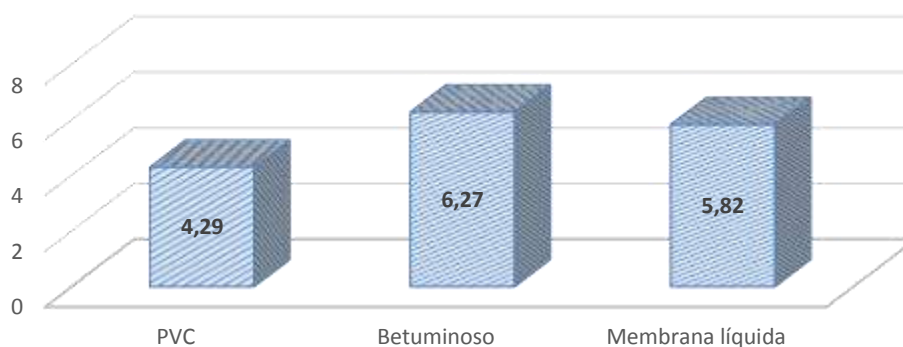


Figura 5.15 - Média de anomalias registradas nos diferentes revestimentos de impermeabilização inspecionados

De modo a quantificar as várias parcelas que compõem as médias apresentadas na Figura 5.15, apresenta-se nas Figuras 5.16 a 5.18, as frequências das várias anomalias para cada tipo de revestimento de impermeabilização.

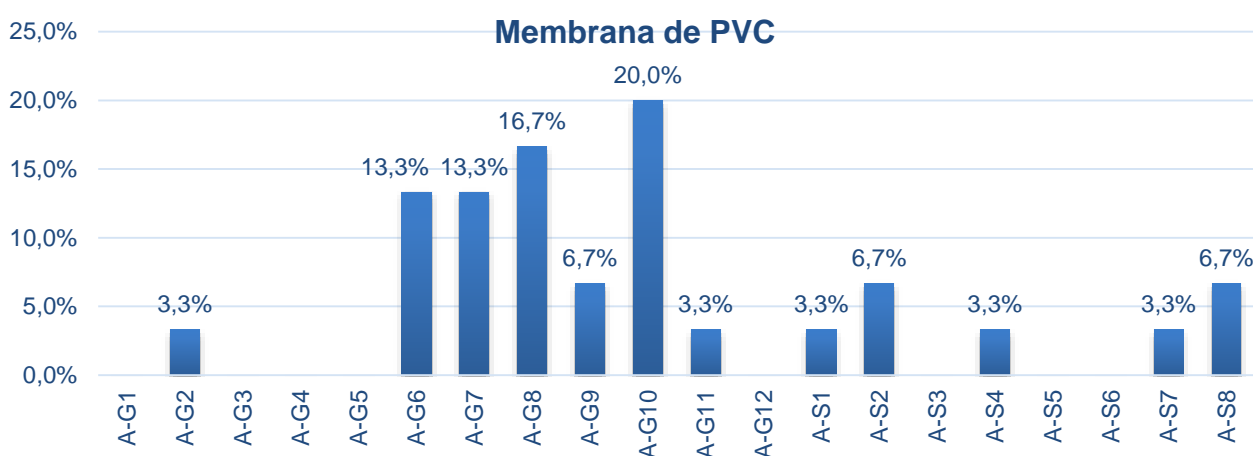


Figura 5.16 - Frequência de ocorrência das anomalias registradas em coberturas com membranas de PVC

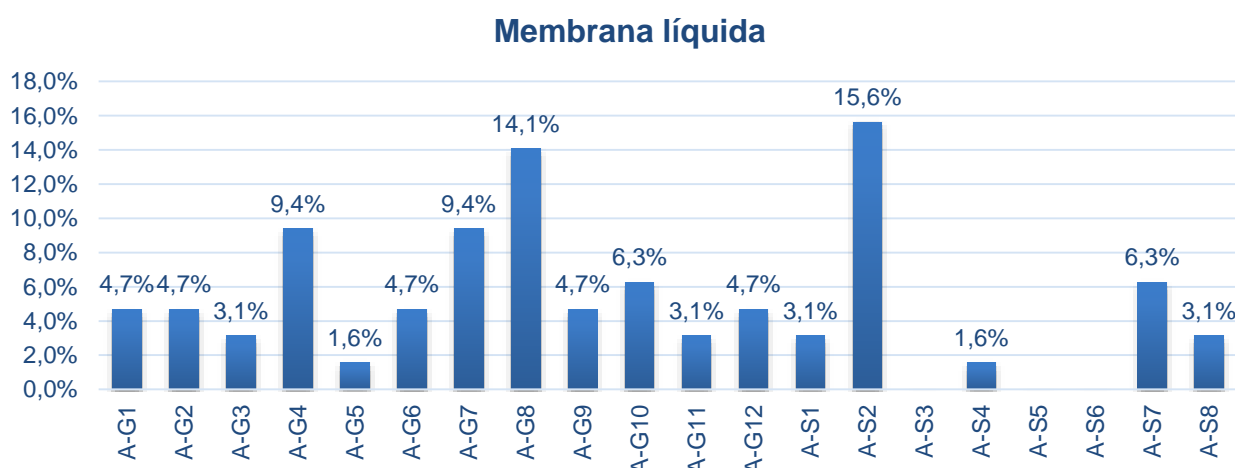


Figura 5.17 - Frequência de ocorrência das anomalias registradas em coberturas com membrana líquida

As anomalias que ocorrem com maior frequência, em média, nas três soluções são a **A-G10 - colonização biológica**, a **A-G8 - acumulação de detritos** e a **A-S2 - conceção inadequada de tubos de queda**. As duas primeiras são consequência, uma vez mais, da ausência de ações de limpeza e manutenção, enquanto que a última é consequência da má pormenorização e/ou execução de tubos de queda.

Por observação da Figura 5.16, conclui-se que nas membranas de PVC, em relação à integridade do revestimento de impermeabilização, evidencia-se a anomalia **A-G6 - perfuração** que, registrando uma frequência assinalável (13,3%), pode colocar em causa a integridade do mesmo. No caso das coberturas invertidas, onde se adotou a membrana de PVC, registou-se com alguma frequência a anomalia **A-G7 - ausência / posicionamento inadequado de camada** (13,3%). Esta anomalia verificou-se principalmente no isolamento térmico, que por vezes apareceu danificado devido ao vento, ao vandalismo e ataque das raízes da vegetação. Os remates deficientes (**A-S8**), que apresentam uma frequência de 6,7%, revelam a pouca importância que incorretamente se dá tanto à pormenorização como à execução de pontos singulares.

Relativamente às coberturas com membrana líquida (Figura 5.17), observa-se que as anomalias, para além das referidas, que se registam com maior frequência são a **A-G4 - formação de pregas / empolamento** e a **A-G7 - ausência / posicionamento inadequado de camada**. A primeira anomalia encontra-se associada à falta de qualidade na mão-de-obra nomeadamente na colocação da camada de impermeabilização com humidade presente no suporte. A segunda, por sua vez, relaciona-se com a ausência da camada de rede de fibra de vidro ou da segunda camada de membrana líquida, em certos locais. É mais uma vez notória a relação das anomalias com a falta de qualidade na mão-de-obra.

Em relação às anomalias que apresentam um registo nulo ou baixo, são em parte, justificadas pelas reduzidas inspeções a coberturas com PVC e membrana líquida.

Quanto às coberturas que apresentam um revestimento de impermeabilização betuminoso, observa-se que as anomalias que apresentam maior frequência, excetuando as referidas, são a **A-G1- desgaste superficial** (9,6%) e a **A-G4 - formação de pregas / empolamento** (8,2%). Na primeira, tem-se como ação predominante a ação da radiação solar que promove o envelhecimento da membrana betuminosa. Já na segunda anomalia, tem-se como principais causadores a deficiente colocação da membrana de impermeabilização a par da presença de humidade.

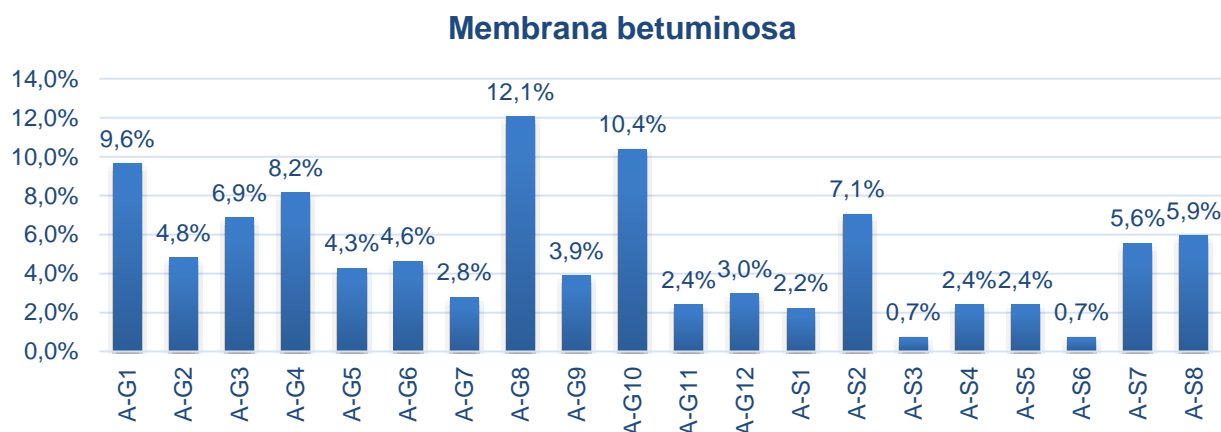


Figura 5.18 - Frequência de ocorrência das anomalias registadas em coberturas com membrana betuminosa

Finalmente, apresenta-se uma última consideração relativamente ao nível de gravidade / urgência de reparação das anomalias observadas no trabalho de campo.

Apresenta-se na Figura 5.19 as percentagens dos três tipos de intervenção (0 - intervenção imediata, até 6 meses; 1 - intervenção a médio prazo, até 1 ano e 2 - monitorização da anomalia) para o total de anomalias da amostra e a frequência relativa destes graus para cada tipo de anomalia identificada na amostra (Figura

5.20). A urgência de intervenção para cada anomalia foi estimada, tendo como base as informações recolhidas nas fichas de inspeção e de validação e os níveis de gravidade / urgência de reparação descritos nas fichas de anomalias apresentadas.

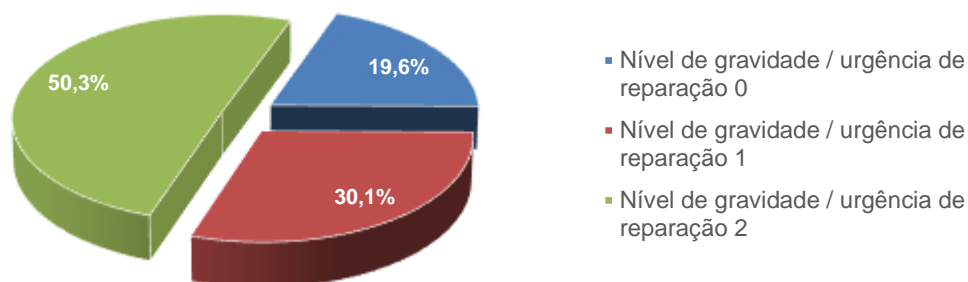


Figura 5.19 - Nível de gravidade / urgência de reparação das anomalias na amostra

Observando a Figura 5.19, verifica-se que o nível de gravidade mais vezes registado foi o 2 (50,3% da amostra), enquanto o nível de gravidade que exige intervenção mediata é o que apresenta menor número de registos (19,2%).

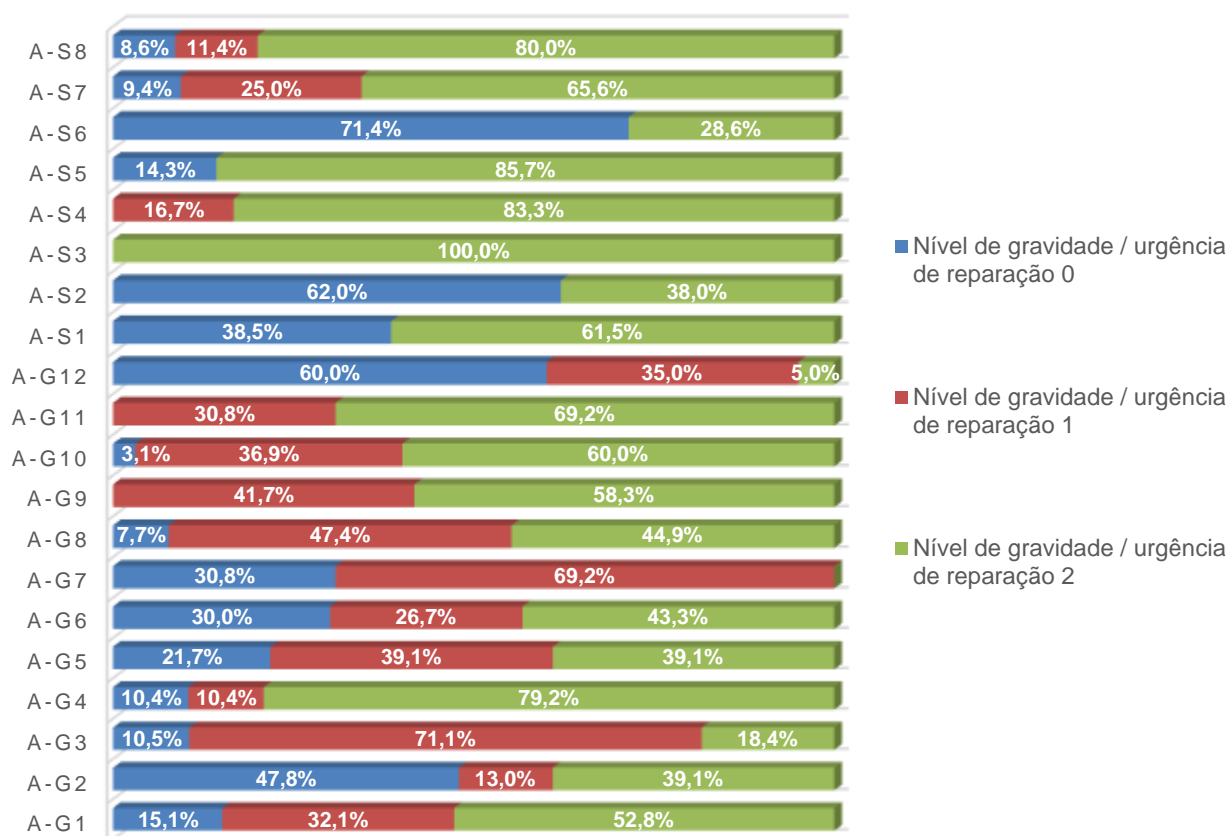


Figura 5.20 - Urgência de reparação estimada para cada anomalia identificada na amostra

A análise por tipo de anomalia da Figura 5.20 permite concluir que, em mais de 50% dos casos, as anomalias **A-G12 - manchas de humidade de condensação / infiltração**, **A-S2 - conceção inadequada de tubos de queda** e **A-S6 - fixações deficientes** necessitam de uma intervenção imediata, sob pena de ocorrer a degradação dos elementos afetados pela humidade / infiltrações, no primeiro caso; o caso da conceção inadequada de tubos de queda pode resultar em acumulação de detritos e entupimento dos tubos de queda, po-

dendo originar acumulação de água; no terceiro caso é necessário intervir de modo a evitar eventuais infiltrações. No caso da **A-G2 - fratura / rotura**, que em 47,8% dos casos apresenta a necessidade de intervenção imediata, é fundamental a respetiva reabilitação, fundamentalmente ao nível da membrana de impermeabilização, a fim de evitar infiltrações.

As anomalias **A-G12 - manchas de humidade de condensação / infiltração**, **A-G11 - corrosão**, **A-G10 - colonização biológica**, **A-G9 - deficiências de inclinação / empoçamento**, **A-G8 - acumulação de detritos**, **A-G7 - ausência / posicionamento inadequado de camada**, **A-G5 - fissuração**, **A-G3 - deslocamento / arrancamento** e **A-G1 - desgaste superficial** apresentam, em mais de 30% dos casos, necessidade de intervenção a médio prazo. À exceção da anomalia **A-G7 - ausência / posicionamento inadequado de camada**, nas restantes, é importante a monitorização das mesmas para verificar a sua evolução e prevenir a degradação dos elementos afetados.

No caso da anomalia **A-S3 - conceção inadequada de tubos ladrão**, atribui-se, em 100% dos casos, o nível de gravidade 2, visto que, mesmo nas situações que se observaram em que não existiam tubos de ladrão, não se considerou fundamental a sua existência.

É ainda de referir que a atribuição do nível de intervenção 0 à anomalia **A-G10 - colonização biológica** fez-se nos casos em que se registou o ataque das raízes à membrana de impermeabilização e isolamento térmico. A atribuição do nível de gravidade 1 baseou-se, na maioria dos casos, no efeito estético negativo que estas provocavam nas coberturas.

5.4.2 Frequência observada das causas

Relativamente à análise estatística das causas prováveis, foram construídos gráficos de frequência relativa de ocorrência das mesmas. Analisando estes gráficos é possível retirar algumas conclusões que contribuem para o aprofundar de conhecimento sobre a temática. A Figura 5.21 ilustra a contribuição de cada grupo de causas para o total de ocorrências assinaladas.

Por observação do gráfico, verifica-se que as causas associadas ao grupo **C-E - erros de execução** (30%) são aquelas que mais contribuem para a ocorrência de anomalias, seguidas das causas respeitantes ao grupo **C-A - ações ambientais** (28%), como seria expectável. Este facto prende-se com a exposição do sistema de cobertura às ações ambientais que, face às coberturas inclinadas têm um efeito mais nefasto. O grupo **C-P - erros de projeto / conceção** (22%) também apresenta uma elevada contribuição para a ocorrência de anomalias, embora este tipo de erros seja, por vezes, mais dificilmente identificável. Com uma representatividade muito próxima da do grupo anterior, aparece o grupo **C-U - erros de utilização / manutenção** (18%), principalmente devido à causa **C-U3 - ausência / inadequada inspeção**. Por fim, o grupo **C-M - ações de origem mecânica** (2%) apresenta o menor número de registos.

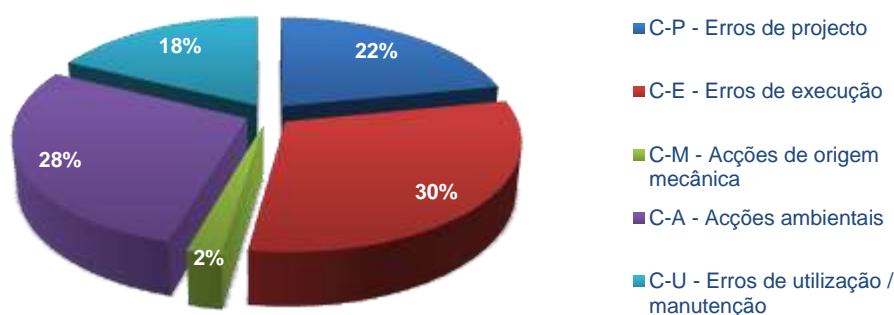


Figura 5.21 - Contribuição relativa de cada grupo de causas para a ocorrência de anomalias

As Figuras 5.22 e 5.23 ilustram a frequência relativa das causas observadas durante a campanha de inspeções. Como se pode observar, a causa **C-E1 - falta de qualidade na mão-de-obra** é a que apresenta maior frequência, sendo igualmente a principal responsável pelas anomalias relativas aos erros de execução. Num segundo plano, tem-se a **C-A2 - radiação ultravioleta / solar**, que é a principal responsável pelas anomalias de origem ambiental. A radiação solar tem forte impacte na medida em que origina o envelhecimento das camadas do sistema da cobertura. No mesmo plano, pode-se observar a **C-U3 - ausência / inadequada inspeção** que foi referida como sendo a principal causa das anomalias decorrentes dos erros de utilização / manutenção. Seguidamente, perfilam-se a **C-A3 - humidade** e a **C-E11 - deficiente colocação da membrana de impermeabilização**. De facto, estes dois problemas podem estar associados, pois o segundo pode levar ao aparecimento do primeiro. A colocação da membrana de impermeabilização, que inevitavelmente se encontra associada à mão-de-obra, é fundamental numa cobertura plana, pois qualquer erro ou má disposição da membrana pode originar, facilmente, infiltrações ou empolamentos, neste caso a origem do problema indexada à presença de humidade.

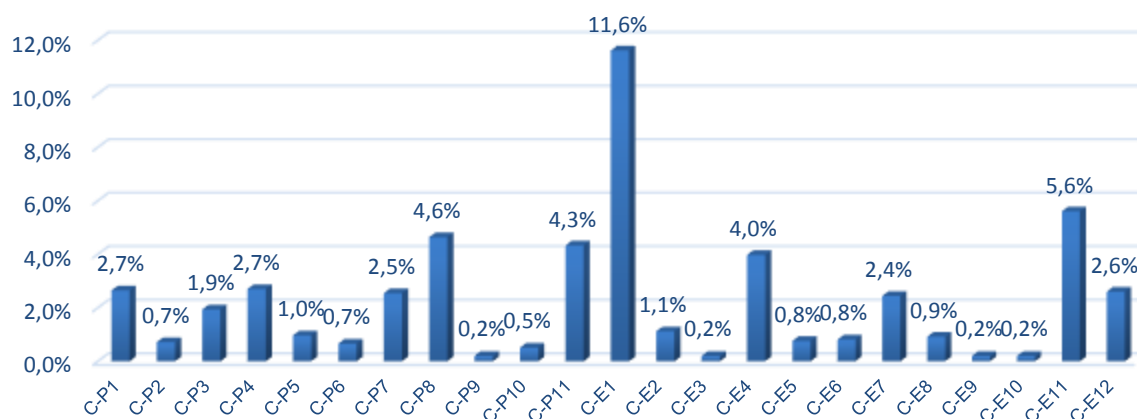


Figura 5.22 - Frequência relativa das causas observadas durante as inspeções (grupo C-P e C-E)

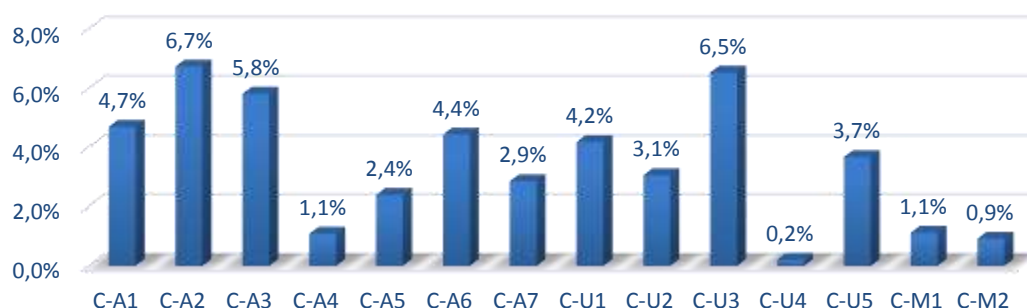


Figura 5.23 - Frequência relativa das causas observadas durante as inspeções (grupo C-A, C-U e C-M)

Por outro lado, as causas que apresentam menor frequência são a **C-P9 - conceção / pormenorização deficiente de tubos ladrão**, a **C-E9 - deficiente execução dos tubos ladrão**, a **C-E10 - deficiente fixação mecânica** e a **C-U4 - alteração do tipo de utilização da cobertura**. O baixo registo destas causas prende-se, mais uma vez, com o reduzido número de vezes que foram detetadas nas inspeções, para conseguir uma melhor avaliação das mesmas teria que se aumentar o número de inspeções realizadas.

A Figura 5.24 apresenta a contribuição relativa dos grupos de causas para as anomalias **A-G1 - desgaste superficial**, **A-G2 - fratura / rotura**, **A-G3 - descolamento / arrancamento**, **A-G4 - formação de pregas / empolamento**, **A-G5 - fissuração** e **A-G6 - perfuração**.

No caso da anomalia **A-G1 - desgaste superficial**, que foi identificada em 50,5% das inspeções, foram identificadas 133 causas prováveis, resultando em 2,5 causas para esta anomalia.

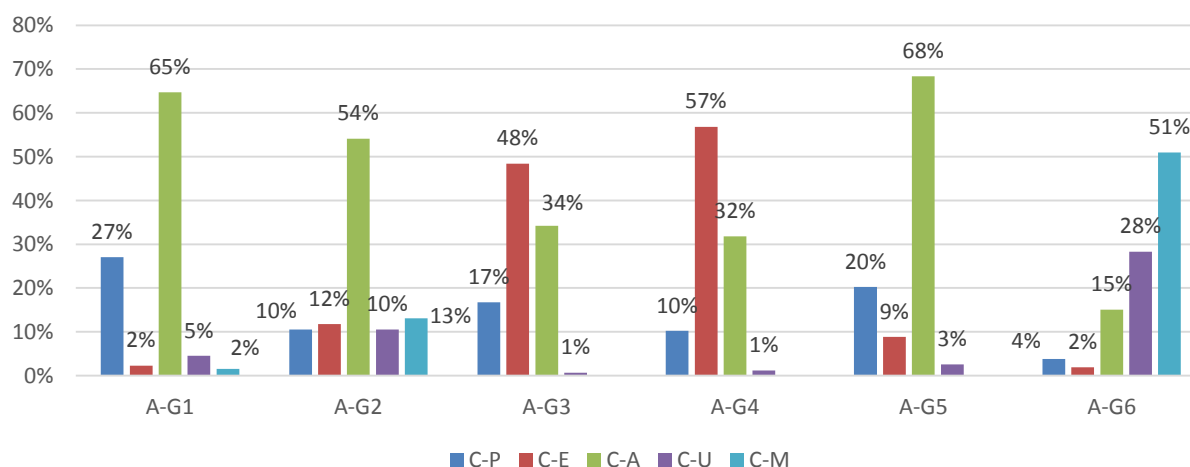


Figura 5.24 - Contribuição relativa dos grupos de causas para a primeira metade do grupo de anomalias de carácter geral

Analisando o gráfico, verifica-se que o grupo de causas que apresenta maior frequência nesta anomalia é o **C-A - ações ambientais** (65%), nomeadamente devido à contribuição da **C-A2 - radiação ultravioleta / solar** e da **C-A6 - envelhecimento natural**, ambas registadas em 80% das ocorrências desta anomalia. No grupo **C-P - erros de projeto / conceção** (27%), assinala-se a contribuição da **C-P11 - escolha inadequada dos materiais**, sendo registada em 60% das ocorrências desta anomalia. Embora com menor relevância, destaca-se a importância da escolha dos materiais, nomeadamente da camada de impermeabilização quando não protegida, face à localização do edifício e exposição solar.

Para além destas, observa-se o registo dos restantes grupos: os grupos **C-E - erros de execução** e **C-M - ações de origem mecânica** com registo praticamente nulo, em conformidade com a matriz teórica, e o grupo **C-U - erros de utilização / manutenção**, onde, embora com um baixo registo, as principais causas desta anomalia são a **C-U4 - alteração do tipo de utilização da cobertura** e o **C-U5 - vandalismo**.

A anomalia **A-G2 - fratura / rotura** foi identificada em 21,9% das inspeções, sendo identificadas 76 causas prováveis, obtendo-se uma média de 3,3 causas para esta anomalia. Tem como principal interveniente o grupo **C-A - ações ambientais** (54%) estando a responsabilidade imputada e aproximadamente repartida de igual forma às causas **C - A2 radiação ultravioleta / solar**, **C-A6 - envelhecimento natural** e **C-A7 - ciclos de humedificação-secagem**. Os restantes grupos apresentam uma contribuição semelhante, destacando-se no grupo **C-M - ações de origem mecânica** a contribuição da **C-M2 - cargas pontuais de natureza estática (permanentes)**, que é apontada em 30% das ocorrências desta anomalia.

A anomalia **A-G3 - descolamento / arrancamento** foi identificada em 36,2% das inspeções, onde foram identificadas 155 causas prováveis, obtendo-se uma média de 4,1 causas para esta anomalia. Pela análise do gráfico, conclui-se que os grupos que mais contribuem para o aparecimento desta anomalia são o **C-E - erros de execução** (48%) e o **C-A - ações ambientais** (34%). No primeiro, realça-se a falta de qualidade de mão-de-obra e a deficiente colocação da membrana de impermeabilização, que contribuem definitivamente para este grupo, registando-se em, aproximadamente, 60% das ocorrências da anomalia. É evidente que se não existir proteção pesada, o facto de a membrana não ser bem aderida ou fixada mecanicamente poderá facilitar o seu descolamento / arrancamento. No segundo grupo, realça-se a contribuição da ação do vento (**C-A1**), aparecendo em 70% das ocorrências desta anomalia.

Quanto ao grupo **C-P - erros de projeto / conceção** (17%), releva-se a contribuição da causa **C-P8 - conceção / pormenorização deficiente de remates e elementos de proteção associados**, registada em 40% das ocorrências da anomalia. Esta situação reflete-se, essencialmente, na execução deficiente de remates e/ou capeamento, uma vez que as membranas são mais vulneráveis à ação do vento nas extremidades, se não aderidas ou protegidas convenientemente. O grupo **C-M - ações de origem mecânica** não teve qualquer registo, uma vez que este tipo de ações não se encontra relacionado com a anomalia em causa, o que vem ao encontro da matriz teórica.

A anomalia **A-G4 - formação de pregas / empolamento** foi identificada em 45,7% das inspeções da amostra, tendo sido assinaladas 176 causas prováveis, o que resulta em 3,7 causas por ocorrência desta anomalia. Pela análise do gráfico conclui-se que os grupos que mais contribuem para o aparecimento desta anomalia são o **C-E - erros de execução** (57%) e o **C-A - ações ambientais** (32%). No primeiro grupo, a causa **C-E1 - falta de qualidade da mão-de-obra** e a **C-E11 - deficiente colocação da membrana de impermeabilização** têm elevada participação rondando ambas o registo em 80% das ocorrências dessa anomalia. É de relevar que ambas as causas estão intrinsecamente associadas à qualidade da mão-de-obra. Quanto às ações ambientais, os fatores que mais concorrem para o aparecimento desta anomalia são a **C-A2 - radiação**

ultravioleta / solar, a **C-A3 - humidade** e a **C-A7 - ciclos de humedificação-secagem**, sendo registados em 29%, 48% e 40%, respetivamente, das ocorrências dessa anomalia. Ao nível dos erros de projeto (grupo **C-P - erros de projeto / conceção**), a contribuição mais assinalável, embora baixa (10% das ocorrências), é referente à causa **C-P1 - conceção / pormenorização deficiente das camadas a aplicar** que, no caso desta anomalia, se refere à ausência da camada de dessolidarização que, caso existisse diminuiria os movimentos diferenciais da membrana de impermeabilização e dificultaria o aparecimento de pregas. O grupo **C-M - ações de origem mecânica** não teve qualquer registo, uma vez que este tipo de ações não se encontra relacionado com a anomalia em causa, o que vem, mais uma vez, ao encontro da matriz teórica.

No caso da anomalia **A-G5 - fissuração**, que foi identificada em 21,9% das inspeções, foram identificadas 79 causas prováveis, resultando em 3,4 causas para esta anomalia. As causas para a ocorrência desta anomalia encontram-se associadas à **C-P11 - escolha inadequada de materiais** (registada em 57% das ocorrências da anomalia) do grupo **C-P - erros de projeto / conceção**, à **C - A2 radiação ultravioleta / solar** (registada em 78% das ocorrências da anomalia), à **C-A6 - envelhecimento natural** (registada em 65% das ocorrências da anomalia) e à **C-A7 - ciclos de humedificação-secagem** (registada em 78% das ocorrências da anomalia), sendo as últimas três do grupo **C-A - ações ambientais**. De facto, este grupo detém a maior fatia de contribuição, atingindo 68%, enquanto que o grupo **C-P - erros de projeto / conceção** apenas detém 20%. Os resultados são esperados uma vez que as ações ambientais terão sempre uma maior contribuição para o aparecimento deste anomalia, não obstante podem ser minimizadas recorrendo a um projeto que contemple o aparecimento deste tipo de anomalias. Mais uma vez, o grupo **C-M - ações de origem mecânica** não teve qualquer registo, uma vez que este tipo de ação não tem qualquer relação com a anomalia em causa.

A anomalia **A-G6 - perfuração** foi registada em 28,6% do total de inspeções e, perante as 53 causas assinaladas, verifica-se em média 1,8 causas por ocorrência desta anomalia. As causas para a ocorrência desta anomalia encontram-se sobretudo associadas ao grupo **C-M - ações de origem mecânica**, nomeadamente às causas **C-M2 - cargas pontuais de natureza estática (permanentes)** e **C-M1 - cargas pontuais de natureza dinâmica (curta duração)**, assinaladas, respetivamente, em 53% e 37% das ocorrências da anomalia. No entanto existem outras causas que apresentam assinalável contribuição como o **C-U5 - vandalismo** (grupo **C-U - erros de utilização / manutenção**), assinalado em 47% das ocorrências da anomalia. Com menor contribuição tem-se a **C-E10 - deficiente fixação mecânica** (grupo **C-E - erros de execução**) e **C-A5 - vegetação** (grupo **C-A - ações ambientais**). Este último refere-se ao ataque das raízes, verificado tanto no revestimento de impermeabilização como em isolamentos térmicos, que pode ter como consequência a fratura / rotura da camada atacada. Em relação à **C-E10 - deficiente fixação mecânica**, apesar de uma fraca incidência, resolveu-se manter a matriz teórica, uma vez que a sua execução / conceção é fulcral para se evitar perfurações ao nível da membrana de impermeabilização e consequentes infiltrações.

A Figura 5.25 representa a contribuição de cada grupo de causas para a ocorrência das anomalias da segunda parte do grupo de anomalias de carácter geral.

A anomalia **A-G7 - ausência / posicionamento inadequado de camada** foi registada em 24,8% do total de inspeções e, perante as 48 causas assinaladas, verifica-se em média 1,8 causas por ocorrência desta anomalia. O grupo com maior contribuição para o aparecimento desta anomalia foi o **C-P - erros de projeto / conceção** (44%) onde a causa **C-P1 - conceção / pormenorização inadequada das camadas a aplicar** foi a principal, registada em 77% das ocorrências da anomalia. Esta causa está relacionada com a ausência da camada de isolamento térmico que se exige, por exemplo, nos edifícios de habitação ou de escritórios. Em

segundo lugar, o grupo que obteve maior contribuição foi o **C-E - erros de execução** (33%), maioritariamente devido à falta de qualidade na mão-de-obra (registada em 62% das ocorrências da anomalia). A frequência das causas relativas aos restantes grupos não foi suficientemente elevadas para proceder a alterações na matriz teórica, mantendo-se por isso a matriz original.

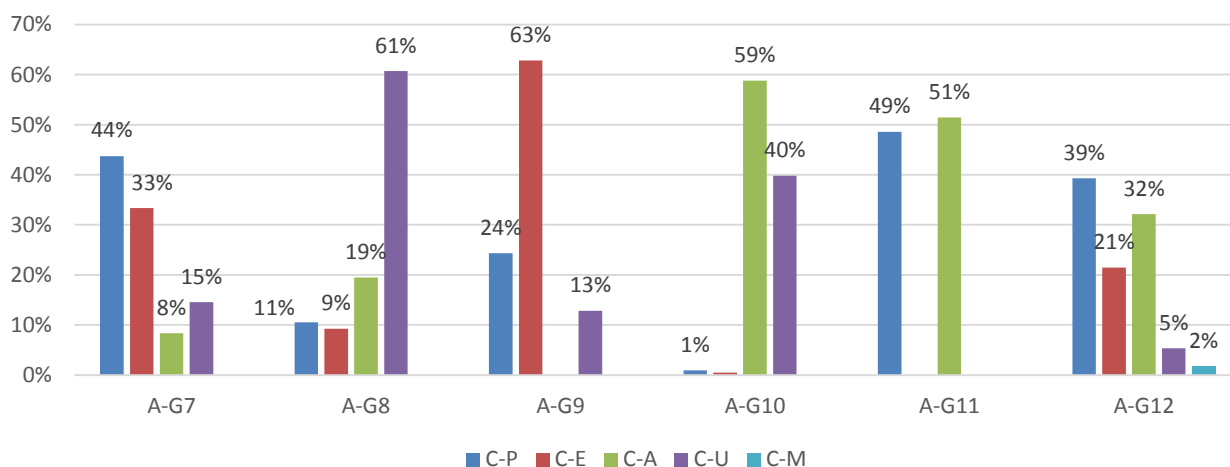


Figura 5.25 - Contribuição relativa dos grupos de causas para a segunda metade do grupo de anomalias de carácter geral

A anomalia **A-G8 - acumulação de detritos** foi identificada em 74,3% das inspeções da amostra, tendo sido assinaladas 313 causas prováveis, o que resulta em 4,0 causas por ocorrência desta anomalia. As causas para a ocorrência desta anomalia são sobretudo a **C-U1 - falta de limpeza de detritos na zona corrente**, **C-U2 - acumulação / obstrução de detritos nas embocaduras dos tubos de queda ou caleiras**, **C-U3 - ausência / inadequada inspeção** e **C-U5 - vandalismo**, todas do grupo **C-U - erros de utilização / manutenção**. A contribuição do grupo **C-A - ações ambientais** também tem alguma expressão estando, fundamentalmente, associada à ação do vento (**C-A1**). Por fim, no grupo de causas **C-P - erros de projeto / conceção**, a conceção incorreta da pendente da cobertura (**C-P7**) é a principal interveniente, enquanto que no grupo **C-E - erros de execução** se salienta a pendente deficiente (**C-E12**), que obviamente pode facilitar a acumulação de detritos.

A anomalia **A-G9 - deficiências de inclinação / empoçamento** foi identificada em 22,9% das inspeções do total da amostra. As causas assinaladas perfizeram um total de 78, resultando em 3,3 causas por ocorrência desta anomalia. Como se pode observar no gráfico, o grupo de causas que mais contribui para a ocorrência desta anomalia é o **C-E - erros de execução** (63%), tendo, por sua vez, como causas que mais contribuem a **C-E1 - falta de qualidade na mão-de-obra**, assinalada em 79% das ocorrências da anomalia, e a **C-E12 - pendente deficiente** que foi sempre assinalada na totalidade das ocorrências. Quanto ao grupo **C-P - erros de projeto / conceção**, a causa que mais se destaca é a **C-P7 - conceção / pormenorização deficiente da pendente**, assinalada em 54% das ocorrências. O que se pode concluir é que esta anomalia deriva essencialmente de erros de execução, imputados, uma vez mais, à fraca qualidade da mão-de-obra. Como é evidente, não se previa registos dos restantes grupos pois não se encontram minimamente relacionados com a ocorrência da dita anomalia, à exceção da presença prolongada de água / chuva (**C-A4**). No entanto, durante o período em que ocorreram as inspeções, raramente se observou chuva.

Em relação à anomalia **A-G10 - colonização biológica**, verificou-se a sua ocorrência em 61,9% das inspeções e foram assinaladas 216 causas prováveis, o que dá em média 3,3 causas por anomalia. Por observação do gráfico, conclui-se que esta anomalia é originada sobretudo por causas do grupo **C-A - ações ambientais**,

nomeadamente as **C-A2 - radiação solar** (39% no total das ocorrências), **C-A3 - humidade** (83% no total das ocorrências), **C-A4 - presença prolongada de água / chuva** (22% no total das ocorrências) e **CA-5 - vegetação** (52% no total das ocorrências). O grupo **C-U – erros de utilização / manutenção** também apresenta elevada expressão (40%), traduzindo a influência que causas como **C-U1 - falta de limpeza de detritos na zona corrente** (31% no total das ocorrências), **C-U2 – acumulação / obstrução de detritos nas emboaduras dos tubos de queda ou caleiras** (19% no total das ocorrências), **C-U3 - ausência / inadequada inspeção** (83% no total das ocorrências) têm no aparecimento da dita anomalia. Como seria de esperar, os restantes grupos não têm expressão no aparecimento da anomalia em causa.

A anomalia **A-G11 - corrosão** foi identificada em 12,4% das inspeções, tendo sido assinaladas 35 causas prováveis, o que resulta em 2,7 causas por ocorrência desta anomalia. Como seria de esperar, as causas atribuídas a esta anomalia são exclusivas dos grupos **C-A - ações ambientais** e **C-P - erros de projeto / conceção**. Relativamente ao primeiro grupo, a causa predominante é a **C-A3 - humidade** que é o catalisador do processo de corrosão. No segundo grupo, a escolha de materiais inadequados (**C-P11**) que facilitem o processo de corrosão é, de todo, uma situação a evitar. De notar que ambas as causas se verificaram em todas as ocorrências da anomalia.

A anomalia **A-G12 - manchas de humidade de condensação / infiltração** foi identificada em 19% do total de inspeções realizadas. As causas assinaladas perfizeram um total de 56, resultando em 2,8 causas por ocorrência desta anomalia. Como se pode observar no gráfico, os grupos de causas que mais contribuem para a ocorrência desta anomalia são os **C-P - erros de projeto / conceção** (39%) e **C-A - ações ambientais** (32%). Relativamente ao primeiro grupo, as causas que apresentam maior contribuição são a **C-P1 - conceção / pormenorização inadequada das camadas a aplicar** (no presente caso, a ausência de isolamento térmico ou barreira pára-vapor ou mesmo o incorreto posicionamento facilitaram o aparecimento de condensações ou o fenómeno de termoforese), a **C-P8 - conceção / pormenorização deficiente de remates e elementos de proteção associados** (a deficiente conceção / pormenorização facilitou a ocorrência de infiltrações nos pontos singulares) e a **C-P11 - escolha inadequada de materiais**. No segundo grupo, encontram-se causas como a **C-A3 - humidade**, a **C-A6 - envelhecimento natural** ou a **C-A4 - presença prolongada de água / chuva**, que naturalmente facilitam o processo de infiltração. Quanto aos erros de execução (grupo **C-E**), salienta-se a deficiente execução de remates e elementos de proteção associados (**C-E4**), tal como indica a matriz teórica. Apesar de se apresentar alguns registos ao nível do grupo de **C-U - erros de utilização / manutenção**, os mesmos não são suficientes para promover alterações na matriz teórica. Ao invés, no grupo **C-M - ações de origem mecânica**, não se obteve registos suficientes que validassem a matriz teórica. No entanto, tal facto deve-se ao número reduzido de inspeções, já que uma perfuração facilita, naturalmente, a ocorrência de infiltrações.

A Figura 5.26 representa a contribuição de cada grupo de causas para a ocorrência das anomalias do primeiro segmento do grupo de anomalias em pontos singulares.

A anomalia **A-S1 - conceção inadequada de juntas de dilatação** foi identificada em 12,4% das inspeções do total da amostra. As causas assinaladas perfizeram um total de 54, resultando em 4,2 causas por ocorrência desta anomalia.

Como é perceptível através da análise da Figura 5.26, os grupos que têm a maior contribuição para a ocorrência da anomalia **A-S1 - conceção inadequada de juntas de dilatação** são erros de conceção / pormenorização (grupo **C-P - erros de projeto / conceção**, contribuindo com 35% no total das ocorrências) e erros de execução (grupo **C-E - erros de execução**, contribuindo com 57% no total das ocorrências).

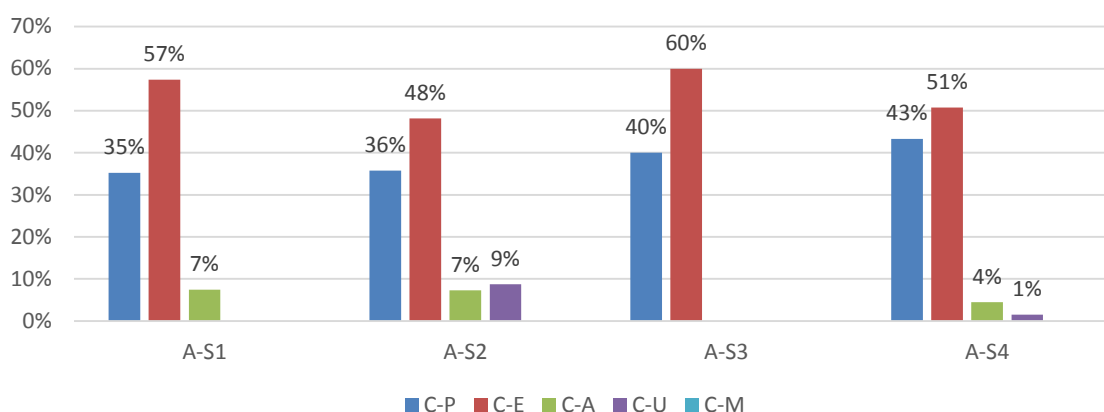


Figura 5.26 - Contribuição relativa dos grupos de causas para a ocorrência das anomalias da primeira parte do grupo de anomalias em pontos singulares

Na origem dos erros de concepção / pormenorização está a causa **C-P2 - concepção / pormenorização deficiente das juntas de dilatação**, estando presente em todas as ocorrências. A falta de qualidade na mão-de-obra (**CE-1**) e a deficiente execução da junta de dilatação (**C-E5**) são igualmente causas que se registaram em todas as ocorrências, contribuindo dessa forma para o grupo **C-E - erros de execução**. Os restantes grupos não contribuíram de forma decisiva para serem contabilizados na matriz final, assumindo-se por essa razão os valores presentes na matriz teórica.

A anomalia **A-S2 - concepção inadequada de tubos de queda** foi identificada em 47,6% das inspeções do total da amostra. As causas assinaladas perfizeram um total de 137, resultando em 2,7 causas por ocorrência desta anomalia. Como se pode observar no gráfico, os grupos de causas que mais contribuem para a ocorrência desta anomalia são o **C-E - erros de execução** e o **C-P - erros de projeto / concepção**. Nos erros de execução, destaca-se a falta de qualidade na mão-de-obra (**C-E1**) e deficiente execução dos tubos de queda (**C-E7**), nomeadamente ao nível do rebaixamento das zonas adjacentes e da sobreposição das camadas de impermeabilização nessa zona que, frequentemente, criam zonas sobreelevadas dificultando o escoamento de águas. Do grupo de erros de projeto / concepção, destaca-se a concepção / pormenorização deficiente dos tubos de queda (**C-P4**), principalmente em relação à ausência de ralos na embocadura dos tubos. Quanto ao grupo **C-U - erros de utilização / manutenção**, nota-se que o vandalismo (**C-U5**) é uma causa que por vezes condiciona a integridade do sistema de drenagem, especialmente nos tubos de queda quando se retiram os ralos das embocaduras ou se provoca acumulação de detritos nessas zonas deliberadamente, como no caso das beatas ou lixo.

Em relação à anomalia **A-S3 - concepção inadequada de tubos ladrão**, verificou-se uma baixa ocorrência na ordem dos 3,8% nas inspeções e foram assinaladas 10 causas prováveis, o que dá em média 2,5 causas para cada anomalia deste tipo. As causas associadas pertencem, destacadamente, ao grupo **C-E - erros de execução** (60%), sendo elas a falta de qualidade na mão-de-obra (**C-E1**) e a deficiente execução dos tubos ladrão (**C-E9**), registando-se em todas as ocorrências. Também no grupo **C-P - erros de projeto / concepção** se destaca a concepção / pormenorização inadequada de tubos ladrão (**C-P9**), registando-se em todas as ocorrências. Como é evidente os restantes grupos têm uma contribuição nula, o que era de esperar, uma vez que em nada se relacionam com esta anomalia.

A anomalia **A-S4 - concepção inadequada de caleiras** foi identificada em 11,4% das inspeções do total da amostra. As causas assinaladas perfizeram um total de 67, resultando em 5,6 causas por ocorrência desta anomalia. Pela análise do gráfico, verifica-se que 43% das causas pertencem ao grupo **C-P - erros de projeto / concepção** e 51% ao grupo **C-E - erros de execução**. No primeiro grupo, as causas **C-P5 - concepção /**

pormenorização inadequada de caleiras e a **C-P7 - conceção / pormenorização deficiente da pendente** verificaram-se em todas as ocorrências. Já no segundo, as causas **C-E8 - deficiente execução de caleiras** e **C-E12 - deficiente colocação da membrana de impermeabilização** (a membrana sobreposta não foi colocada no sentido descendente) verificaram-se em 83% das ocorrências da anomalia. Os restantes grupos não contribuíram de forma decisiva para serem contabilizados na matriz final, assumindo-se por essa razão os valores presentes na matriz teórica.

A Figura 5.27 representa a contribuição de cada grupo de causas para a ocorrência das anomalias da segunda parte do grupo de anomalias em pontos singulares.

A anomalia **A-S5 - conceção inadequada de juntas de sobreposição** foi identificada em 13,3% das inspeções realizadas. Uma vez que foram registadas 46 causas prováveis, daí resulta que, para cada anomalia, se tenha em média 3,3 causas.

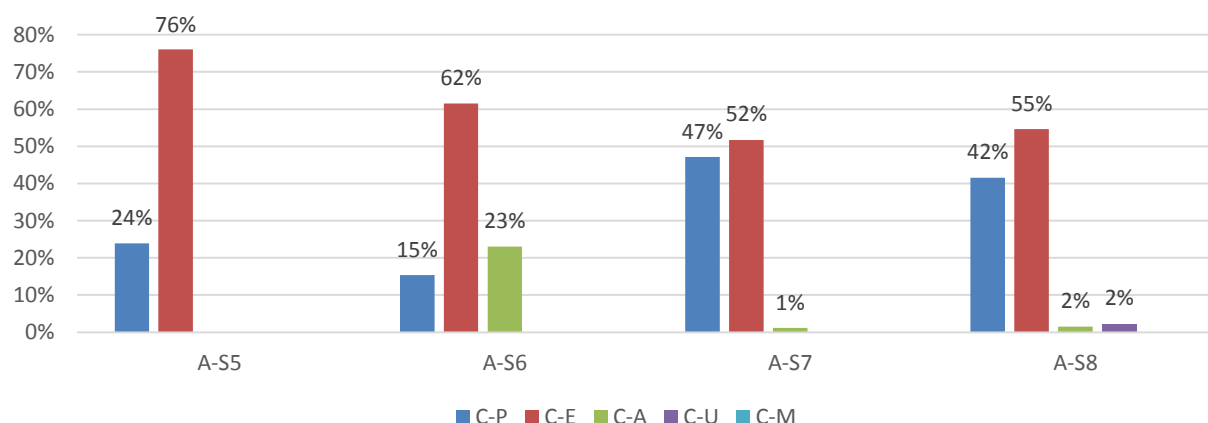


Figura 5.27 - Contribuição relativa dos grupos de causas para a ocorrência das anomalias da segunda parte do grupo de anomalias em pontos singulares

Pela análise do gráfico, verifica-se que 24% das causas pertencem ao grupo **C-P - erros de projeto / conceção**, destacando-se a **C-P6 - conceção / pormenorização deficiente das juntas de sobreposição** (largura insuficiente), e 76% ao grupo **C-E - erros de execução**, destacando-se a falta de qualidade na mão-de-obra (**C-E1**), a deficiente execução das juntas de sobreposição (largura insuficiente) (**C-E6**) e a deficiente colocação da membrana de impermeabilização (insuficiente colagem entre juntas) (**C-E11**). Como é evidente, os restantes grupos têm uma contribuição nula, o que era de esperar, uma vez que em nada se relacionam com esta anomalia.

Em relação à anomalia **A-S6 - fixações deficientes**, verificou-se a sua ocorrência em 6,7% da amostra e foram assinaladas 13 causas prováveis, o que dá em média 1,9 causas para cada anomalia deste tipo. As causas associadas pertencem destacadamente ao grupo **C-E - erros de execução** e consistem na **C-E1 - falta de qualidade na mão-de-obra** (em 43% dos casos) e na **C-E4 - deficiente execução de remates e elementos de proteção associados** (em 57% dos casos). No grupo **C-P - erros de projeto / conceção**, apesar de não haver registos foi mantida a causa **C-P8 - conceção / pormenorização deficiente de remates e elementos de proteção associados**, tal como na matriz teórica. O grupo **C-A - ações ambientais** (23%) não contribui de forma decisiva para ser contabilizado na matriz final, assumindo-se os valores presentes na matriz teórica.

Em relação à anomalia **A-S7 - capeamento deficiente**, verificou-se a sua ocorrência em 30,7% das inspeções e foram assinaladas 87 causas prováveis, o que dá em média 2,7 causas para cada anomalia deste tipo. As causas identificadas dizem respeito apenas aos grupos de causas **C-P - erros de projeto / conceção**

(representando 47% das causas) e **C-E - erros de execução** (representando 52% das causas), desprezando-se a contribuição mínima do grupo **C-A - ações ambientais** (1%). Nos referidos grupos, as causas que mais se destacam são a **C-P8 - concepção / pormenorização deficiente de remates e elementos de proteção associados**, (em 88% dos casos), a **C-E1 - falta de qualidade na mão-de-obra** (em 72% dos casos) e a **C-E4 - deficiente execução de remates e elementos de proteção associados** (em 53% dos casos). Em relação à **C-P7 - concepção / pormenorização deficiente da pendente** e à **C-E12 - pendente deficiente**, apesar de não terem obtido relevante contribuição, optou-se por manter o valor da matriz teórica.

Em relação à anomalia **A-S8 - remates deficientes**, verificou-se a sua ocorrência em 33,3% da amostra e foram assinaladas 130 causas prováveis, o que dá em média 3,7 causas para cada anomalia deste tipo. As causas identificadas dizem respeito apenas aos grupos de causas **C-P - erros de projeto / concepção** (representando 42% das causas) e **C-E - erros de execução** (representando 55% das causas), uma vez que os restantes grupos não obtiveram contribuição suficiente para serem considerados. As principais causas que contribuem para a ocorrência desta anomalia são a **C-P3 - concepção / pormenorização deficiente da superfície / elementos emergentes** (em 40% dos casos), a **C-P8 - concepção / pormenorização deficiente de remates e elementos de proteção associados** (em 100% dos casos), a **C-E1 - falta de qualidade na mão-de-obra** (em 72% dos casos), a **C-E4 - deficiente execução de remates e elementos de proteção associados** (em 80% dos casos) e a **C-E11 - deficiente colocação da membrana de impermeabilização** (em 52% dos casos).

A Figura 5.28 apresenta a média de causas registadas nos diferentes tipos de revestimentos de impermeabilização, dando assim uma perspetiva de quais os mais afetados. Neste gráfico, verifica-se que o maior número médio de registos de causas ocorre para as membranas betuminosas (19,5 causas por inspeção de cada tipo de membrana), também porque o número de membranas analisadas deste tipo é superior ao das restantes. A frequência média de causas na membrana líquida é de 17,5 enquanto na membrana PVC a média é de 12,9. É curioso observar que, apesar das poucas observações, nas membranas líquidas a média de causas aproxima-se bastante da média de causas nas membranas betuminosas. Daqui se pode concluir que este tipo de solução tem tendência a apresentar anomalias originadas por causas fundamentalmente do foro da execução. As membranas de PVC apresentam uma menor média de causas porque durante as inspeções esta solução foi encontrada principalmente na forma de cobertura invertida, estando por isso mais protegida pela proteção pesada da ação da radiação solar (principal agente causador) e agentes exteriores.

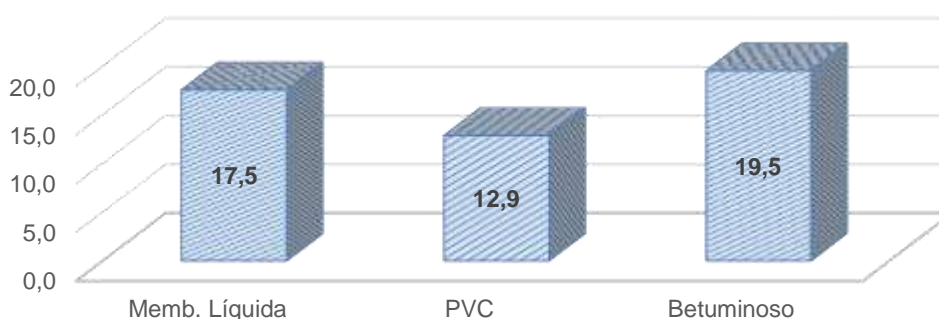


Figura 5.28 - Média de causas registadas nos diferentes revestimentos de impermeabilização inspecionados

A Figura 5.29 apresenta a frequência relativa das causas detetadas nos diferentes revestimentos de impermeabilização inspecionados. Por observação da mesma figura e relativamente à membrana líquida, pode-se concluir que as causas de anomalias provêm, na maioria, de erros de execução (10,9%) (**C-E - erros de execução**). No entanto, os erros de projeto / concepção (**C-P - erros de projeto / concepção**) e as ações de

origem mecânica (**C-M - ações de origem mecânica exterior**) também têm contribuição semelhante, 10,5% e 10,0%, respetivamente. Pode-se concluir-se que as causas associadas a este tipo de solução apresentam distribuição semelhante não podendo, por essa razão, destacar nenhuma contribuição de um grupo em particular. Relativamente à membrana PVC, já não se pode inferir o mesmo, porque os erros de utilização / manutenção (**C-U**) se destacam com uma frequência de 7,8%, face aos outros. O grupo que apresenta menor contribuição é o **C-M - ações de origem mecânica exterior**, uma vez que, como referido, as membranas deste tipo inspecionadas encontravam-se protegidas (sistema cobertura invertida). A membrana betuminosa encontra-se numa situação idêntica à descrita para a membrana líquida, ou seja, os grupos de causas apresentam contribuições muito semelhantes, sendo que desta forma não se destaca nenhum grupo em particular.

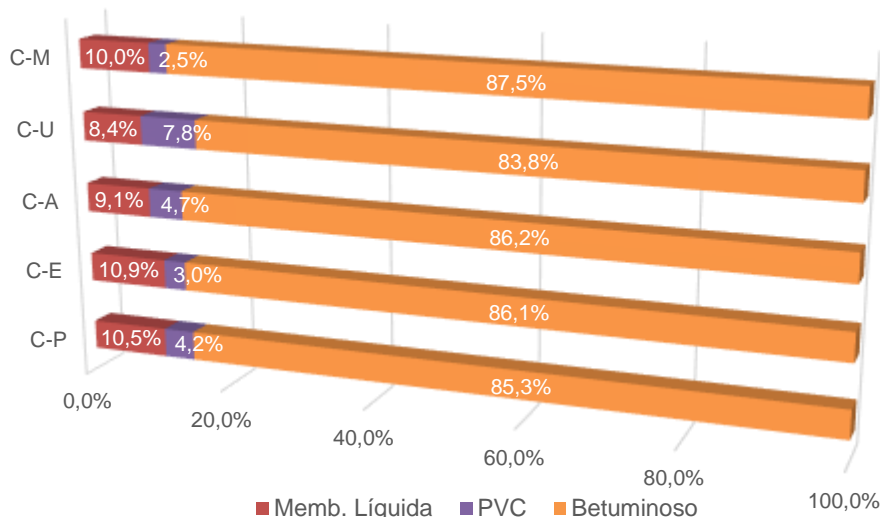


Figura 5.29 - Frequência relativa das causas detetadas nos diferentes revestimentos de impermeabilização inspecionados

5.4.3 Frequência observada dos métodos de diagnóstico

Na Figura 5.30, são apresentadas as frequências absolutas e relativas dos vários métodos de diagnóstico para o total de anomalias verificadas.

Como se pode observar, o método **D-A1 - inspeção visual**, que constitui o único ponto comum a todas as anomalias, foi destacadamente o mais assinalado, uma vez que, tal como referido, é considerado o método primário de diagnóstico em todas as anomalias, seguido de outros métodos mais específicos, caso estejam disponíveis e sejam necessários. Como segundo método mais assinalado na amostra, encontra-se o **D-C1 - termografia de infravermelhos**, em 12,2% dos casos e, em terceiro, o **D-B1 - deteção eletrónica de infiltração**, registado em 11,2% dos casos. Os métodos dos grupos **D-B2 - teste da capacidade elétrica ou capacitância**, **D-D1 - método nuclear** e **D-E1 - ensaio de estanqueidade**, têm frequências muito próximas, mesmo tendo em conta todas as condicionantes individuais enunciadas. Finalmente, o método **D-A2 - medição da inclinação** apresenta uma frequência baixa por ter um campo de aplicação muito limitado, tal como o próprio nome indica.

Poder-se-ia proceder à análise dos métodos de diagnóstico consoante o tipo de revestimento de impermeabilização utilizado. No entanto, não seria relevante uma vez que os métodos apenas não são utilizáveis em membranas EPDM ou asfalto, sendo que esses tipos de membranas não foram abordados nas inspeções. Os métodos de diagnóstico estão todos associados à anomalia **A-G12**, que por sua vez, foi assinalada em

19% das inspeções realizadas. Esta encontra-se associada, essencialmente aos grupos **C-P - erros de projeto / conceção** (39% do total das ocorrências da causa) e **C-A - ações ambientais** (32% do total das ocorrências da causa).

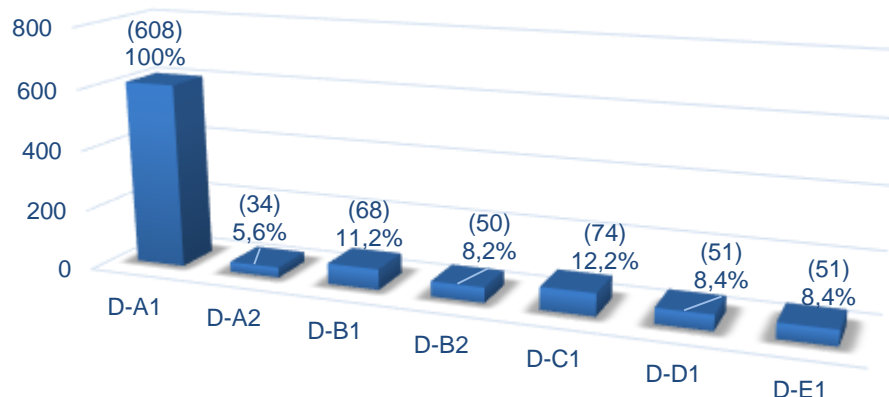


Figura 5.30 - Frequência absoluta e relativa de escolha de cada método de diagnóstico nas inspeções efetuadas

Relativamente ao primeiro grupo, as causas que apresentam maior contribuição são a **C-P1 - conceção / pormenorização inadequada das camadas a aplicar** (no presente caso, a ausência de isolamento térmico ou barreira pára-vapor ou mesmo o incorreto posicionamento facilitaram o aparecimento de condensações ou o fenómeno de termoforese), a **C-P8 - conceção / pormenorização deficiente de remates e elementos de proteção associados** (a deficiente conceção / pormenorização facilitou a ocorrência de infiltrações nos pontos singulares) e a **C-P11 - escolha inadequada de materiais**. No segundo grupo, encontram-se causas como a **C-A3 - humidade**, a **C-A6 - envelhecimento natural** ou a **C-A4 - presença prolongada de água / chuva**, que naturalmente facilitam o processo de infiltração. Pode-se concluir que os métodos de diagnóstico propostos estão definitivamente ligados às causas referidas.

5.5 Síntese

Através dos dados recolhidos nas 105 inspeções, foi possível calibrar e validar, de modo consistente, o sistema classificativo das anomalias e as matrizes de correlação propostas. Para além da validação, foi ainda apresentado um tratamento estatístico, o qual permitiu retirar algumas informações importantes que complementam o sistema classificativo validado.

É importante validar o sistema classificativo e as matrizes de correlação recorrendo a uma campanha de inspeções com maior número de amostra.

Das 608 anomalias identificadas verifica-se que as anomalias **A-G8 - acumulação de detritos**, **A-G10 - colonização biológica**, **A-G1 - desgaste superficial** e **A-S2 - conceção inadequada de tubos de queda** são as que apresentam maior probabilidade de serem observadas com 74,3%, 61,9%, 50,5% e 47,6%, respetivamente, enquanto as anomalias **A-S6 - fixações deficientes** e **A-S3 - conceção inadequada de tubos ladrão** são aquelas em que se observam probabilidades de ocorrência mais baixas, com 6,7% e 3,8%, respetivamente.

Verificou-se que o nível de gravidade mais vezes registado foi o 2 (50,3% da amostra), enquanto o nível de gravidade que exige intervenção mediata é o que apresenta menor número de registos (19,2%).

O tipo de impermeabilização onde se registaram mais anomalias foi no betuminoso. Observou-se que as anomalias que apresentaram maior frequência, foram a **A-G10 - colonização biológica** (10,4%), a **A-G8 - acumulação de detritos** (12,1%) e a **A-G1 - desgaste superficial** (9,6%).

Das 1962 causas prováveis (diretas e indiretas) registradas na amostra, verificou-se que o grupo **C-E - erros de execução** é o mais representativo, tendo-lhe sido assinaladas 598 causas, o que perfaz um total de 30% das causas totais registradas na amostra em estudo.

No que respeita aos métodos de diagnóstico, o método **D-A1 - inspeção visual**, foi destacadamente o mais assinalado (100%), seguidamente o **D-C1 - termografia de infravermelhos**, em 12,2% dos casos e, em terceiro, o **D-B1 - deteção eletrónica de infiltração**, registado em 11,2% dos casos.

Com base nas informações retiradas da campanha de inspeções, pode-se inferir o seguinte:

- ✓ no grupo dos **erros de projeto / conceção**, é fundamental melhorar:
 - a prescrição de materiais adequados para minimizar o desgaste superficial (a escolha de material inadequado é responsável em 57% das ocorrências da anomalia), a fratura (a escolha de material inadequado é responsável em 26% das ocorrências da anomalia), a fissuração (a escolha de material inadequado é responsável em 57% das ocorrências da anomalia), a corrosão (a escolha de material inadequado é sempre responsável pelo aparecimento da anomalia), o aparecimento de manchas de humidade de infiltração / condensação (a escolha de material inadequado é responsável em 35% das ocorrências da anomalia);
 - conceção / pormenorização deficiente de remates e elementos de proteção para evitar o descolamento / arrancamento (esta causa é responsável em 39% das ocorrências da anomalia), o aparecimento de manchas de humidade de infiltração / condensação (é responsável por 35% das ocorrências da anomalia), o capeamento deficiente (é responsável por 88% das ocorrências da anomalia) e os remates deficientes (é sempre responsável pelo aparecimento desta anomalia);
- ✓ no grupo dos **erros de execução**, é fundamental melhorar:
 - a qualidade da mão-de-obra de forma a evitar / minimizar a ocorrência de descolamento / arrancamento (a mão-de-obra é responsável por 58% dos descolamentos / arrancamentos), empolamento / formação de pregas (a mão-de-obra é responsável por 85% dos empolamentos / formação de pregas), ausência / posicionamento inadequado de camada (a mão-de-obra é responsável por 62% da ausência / posicionamento inadequado de camada, por exemplo, nos tubos de queda quando a camada de impermeabilização não é prolongada para o interior do tubo), inclinação deficiente / empoçamento (a mão-de-obra é responsável por 79% da ocorrência desta anomalia), conceção inadequada das juntas de dilatação (a mão-de-obra é responsável por 85% da conceção inadequada das juntas de dilatação), conceção inadequada de juntas de sobreposição (a mão-de-obra é responsável por 86% da conceção inadequada de juntas de sobreposição), fixações deficientes (43% das fixações deficientes observadas têm origem na má qualidade da mão-de-obra), remates deficientes (71% dos remates deficientes observados têm origem na má qualidade da mão-de-obra);
- ✓ no grupo das **ações ambientais**, os principais agentes responsáveis pelo aparecimento de anomalias são:
 - a radiação ultravioleta / solar: 75% do desgaste superficial é devido a esta causa; 65% das fraturas / roturas têm origem nesta causa; 29% dos empolamentos / formação de pregas têm origem na radiação ultravioleta / solar; 78% das fissurações têm como causa a radiação ultravioleta / solar;

- a presença de humidade é sempre responsável pelo aparecimento da anomalia corrosão e 48% dos empolamentos / formação de pregas originam-se devido à presença da mesma;
- ✓ no grupo dos **erros de manutenção / utilização**, é fundamental melhorar:
 - a ausência / inadequada inspeção contribui decisivamente para a acumulação de detritos (83%); para a colonização biológica (83%); sendo as duas anomalias com maior registo, reveste-se da maior importância a existência de ações de limpeza / manutenção em coberturas em terraço;
 - a falta de limpeza de detritos na zona corrente contribui de forma inequívoca para a acumulação de detritos (74%), nomeadamente no sistema de drenagem deslocando-se para lá por ação do vento;
- ✓ no grupo das **ações de origem mecânica exterior**:
 - as cargas pontuais de natureza estática são responsáveis, em 30%, pelo aparecimento de fratura / rotura e, em 37%, pelo aparecimento de perfurações
 - as cargas pontuais de natureza dinâmica são responsáveis, em 53%, pelo aparecimento de perfurações.

6 Conclusões

6.1 Considerações finais

As coberturas têm tido, desde sempre, um papel muito importante nos edifícios, nomeadamente na proteção contra os fenómenos atmosféricos. É de notar que o desenvolvimento registado nas coberturas em terraço, hoje em dia, não se prende unicamente com a simples garantia de estanqueidade, procurando alcançar outras exigências funcionais como o conforto térmico, acústico ou o aspeto estético.

No entanto, verifica-se, muitas vezes, que a mão-de-obra utilizada não é especializada na execução dos sistemas de coberturas (nos pontos singulares, essencialmente) ou não se realizam as respetivas ações de limpeza e manutenção do sistema de cobertura. Também na fase de projeto se aponta algumas debilidades, nomeadamente nas conceções / pormenorizações omissas ou incorretas e na prescrição inadequada dos materiais.

Tendo em conta o estado de degradação do parque habitacional português e a crise global no sector da construção, é essencial a otimização do mesmo sector perante as novas exigências da Sociedade. Para tal, considera-se fulcral a adoção de uma legislação e fiscalização mais rigorosas e eficientes em todas as fases do processo construtivo e ao longo da vida útil dos edifícios. Seguindo esta linha de raciocínio, a adoção de planos de inspeção e manutenção de edifícios, é simultaneamente, uma mais-valia para garantir continuamente um bom desempenho de todo o edificado.

Desta forma, na fase de projeto, são exigíveis pormenorizações e prescrições de materiais corretas; na fase de execução, o recurso a mão-de-obra qualificada e aplicação de materiais em conformidade com o definido no projeto e, na fase de manutenção, a existência de um plano de inspeções periódicas e não-periódicas.

É de relevar que a dissertação em causa se insere na fase de exploração, destinando-se a auxiliar as inspeções em coberturas planas, tal como a ajudar a compreender os fenómenos patológicos, respetivas causas e técnicas de diagnóstico. A importância desta fase prende-se com o facto de permitir a adoção de medidas preventivas e a redução de eventuais custos futuros na reparação de anomalias com maior dimensão.

Considera-se que este trabalho atingiu o objetivo de apresentar um sistema de inspeção e diagnóstico de anomalias em coberturas em terraço, devidamente calibrado e validado através de uma assinalável campanha de inspeções, constituindo por isso uma boa ferramenta de auxílio a futuras inspeções.

6.2 Conclusões gerais

Após a criação e respetiva validação do sistema de inspeção e diagnóstico de anomalias em coberturas em terraço, obteve-se as conclusões expostas seguidamente.

As coberturas em terraço podem classificar-se segundo várias óticas: quanto à acessibilidade; quanto à camada de proteção; segundo o tipo de revestimentos de impermeabilização; quanto à localização da camada de isolamento térmico; quanto à pendente e quanto à estrutura de suporte; na constituição do sistema de coberturas as camadas responsáveis por satisfazer as exigências funcionais são: a estrutura resistente, o suporte de impermeabilização, o revestimento da impermeabilização e a proteção desse revestimento. Além destas, podem ainda constituir a cobertura em terraço as seguintes camadas: a camada de regularização, a camada de forma, a barreira pára-vapor, a camada de isolamento térmico, a camada de difusão de vapor de água e a camada de dessolidarização. Existem exigências funcionais a que o sistema de cobertura deve atender, encontrando-se em cinco grupos principais: de segurança, de habitabilidade, de durabilidade, de

economia e outras exigências. Os materiais e sistemas de impermeabilização podem dividir-se em: materiais e sistemas de impermeabilização tradicionais (betumes, alcatrão e derivados, asfalto, produtos elaborados, sistemas de impermeabilização com base em asfalto ou emulsões betuminosas, telas e feltros betuminosos e sistemas de impermeabilização com base em telas ou feltros betuminosos), ou em materiais e sistemas de impermeabilização não-tradicionais (produtos líquidos ou pastosos, sistemas de impermeabilização não-tradicional aplicados *in situ*; sistema de impermeabilização e de isolamento térmico aplicado *in situ*). Os materiais podem ser classificados em: materiais tradicionais (materiais betuminosos, materiais auxiliares, produtos elaborados e produtos prefabricados), ou em materiais não-tradicionais (produtos em pasta ou produtos prefabricados); quanto aos sistemas de impermeabilização podem ser classificados quanto à sua constituição (sistema tradicional ou não-tradicional), ou quanto ao modo de ligação (sistema aderente, sistema semi-aderente, sistema independente ou sistema fixado mecanicamente). Os isolamentos térmicos podem ser classificados segundo a natureza das matérias primas (isolantes minerais, isolantes vegetais, isolantes sintéticos e mistos) ou segundo ao modo de produção ou execução (prefabricados, em pasta ou em espuma e granulares).

O sistema classificativo de anomalias em coberturas em terraço e das causas prováveis (diretas e indiretas) associadas compreende todos os casos de patologia já observados e registados. Não obstante, dependendo da experiência de utilização futura no referido sistema, é passível a existência de alterações pontuais. Após a validação, através da campanha de inspeções, a informação relativa ao sistema classificativo foi resumida em fichas de anomalias, de forma sintética e inequívoca; os campos das fichas incluem uma breve descrição da anomalia, as causas prováveis e consequências possíveis associadas, os métodos de diagnóstico aplicáveis e os parâmetros de classificação necessários à definição do nível de gravidade / urgência de reparação; deste modo, as fichas, tal como era previsto, revelam-se de fácil interpretação e utilização, para o inspetor, no decorrer das atividades de inspeção que apresentem anomalias. A validação da matriz de correlação entre anomalias é de extrema importância, permitindo estabelecer a probabilidade de ocorrência simultânea de várias anomalias, tendo em conta que uma anomalia pode ocorrer isoladamente ou estar associada a outras anomalias; é de notar que este tipo de conhecimento se revela fundamental para a realização de ações preventivas ao nível do desenvolvimento das anomalias.

Os métodos de diagnóstico de anomalias, passíveis de serem utilizados em coberturas em terraço, devem ter em consideração o método de funcionamento e o tipo de equipamento, tal como as respetivas limitações; tendo em conta que os métodos propostos são de carácter não-destrutivo e de realização *in situ*. A caracterização completa das técnicas é apresentada em fichas individuais que, tal como as fichas de inspeção, têm a finalidade de facilitar o processo de inspeção. Após a validação, através da amostra de inspeções, a matriz de correlação anomalias - técnicas de diagnóstico permite ao inspetor verificar qual o método mais indicado para o diagnóstico de uma determinada anomalia e respetivas causas, de acordo com o tipo de equipamento necessário, o grau de complexidade, vantagens e limitações de cada método. Os métodos apresentados, de carácter elétrico ou nuclear, não têm muita tradição em Portugal, no entanto, é neste sentido que a tecnologia de inspeção, atualmente utilizada, deve evoluir, buscando métodos cada vez mais precisos, funcionais e com boa relação preço / qualidade.

Com a realização do trabalho de campo, foi possível obter a validação do sistema classificativo proposto, das matrizes de correlação e, conseqüentemente, com a análise estatística, foi igualmente possível obter algumas conclusões importantes. Com as 105 inspeções realizadas, foi possível a validação do sistema classificativo proposto e das várias matrizes de correlação apresentadas e ainda a alteração de alguns pressupostos que

melhoram a aplicação do sistema classificativo às situações reais; contudo, considera-se que a validação deverá ter continuidade futura de inspeções de modo a incrementar o número e a diversidade da amostra. As anomalias que apresentam maiores frequências absolutas, ou seja, que apresentam uma maior probabilidade de serem encontradas numa inspeção a uma cobertura em terraço, são: a **A-G8 - acumulação de detritos**, a **A-G10 - colonização biológica**, a **A-G1 - desgaste superficial** e a **A-S2 - inexistência / conceção inadequada de tubos de queda**; por outro lado, as anomalias **A-S6 - fixações deficientes** e **A-S3 - conceção inadequada de tubos ladrão** apresentam as probabilidades de ocorrência mais baixas. Numa análise às anomalias que se podem encontrar nos revestimentos de impermeabilização, o maior número de anomalias concentra-se, em média, nos revestimentos betuminosos, sendo que os revestimentos de PVC e membrana líquida apresentam um número de ocorrências inferior aos restantes.

Em 50,3% dos casos da amostra, o nível de gravidade / urgência de reparação 2 foi o mais registado, revelando que as anomalias com este nível de gravidade devem ser monitorizadas de modo a verificar a sua evolução; por sua vez, registou-se em 19.6% das anomalias observadas que era exigível uma intervenção imediata (nível de gravidade 0), uma vez que a sua ocorrência coloca em causa uma das principais exigências funcionais de uma cobertura - a estanqueidade; verifica-se assim que as anomalias mais gravosas são a **A-G12 - manchas de humidade de condensação / infiltração**, a **A-S2 - conceção inadequada de tubos de queda**, a **A-S6 - fixações deficientes** e a **A-G2 - fratura / rotura**. Os erros de execução são as principais causas de ocorrência de anomalias em coberturas em terraço, seguidos das ações ambientais, pelo que não só se reveste da maior importância a divulgação das técnicas adequadas de execução e utilização de pessoal especializado, como também são de extrema importância as ações regulares de limpeza e manutenção do sistema da cobertura; por sua vez, um maior rigor na seleção de materiais prescritos no projeto de coberturas em terraço poderá contribuir igualmente para a redução da ocorrência de grande parte das anomalias, nomeadamente ao nível dos erros de projeto / conceção.

O método **D-A1 - inspeção visual** é o indicado para um primeiro diagnóstico das anomalias, por ser de fácil utilização e não necessitar de equipamento especial, mas sim de um profissional especializado e com experiência, no entanto, sempre que possível, recomenda-se a utilização de meios auxiliares, a fim de se obter um diagnóstico mais completo; por outro lado, os métodos **D-A2 - medição da inclinação** e **D-B2 - teste da capacidade elétrica ou capacitância** são os menos utilizados devido ao facto de terem um campo de aplicação limitado.

6.3 Perspetivas de desenvolvimentos futuros

Como qualquer trabalho científico, é possível o seu desenvolvimento e melhoramento. Desta forma, propõe-se os seguintes desenvolvimentos futuros:

- ✓ aumentar o número e a fiabilidade das conclusões da análise estatística apresentada, através de mais inspeções e maior diversidade da amostra;
- ✓ construção de uma nova matriz que correlacione as causas prováveis com as técnicas de diagnóstico implementadas;
- ✓ desenvolvimento de um módulo informático que permita o armazenamento (num equipamento portátil) de uma grande quantidade de dados resultantes de inspeções, de modo a aumentar a eficácia e a eficiência da investigação;

- ✓ a aplicação do módulo informático obriga à execução de um manual de inspeções a coberturas em terraço, o qual deverá incluir as regras a que devem obedecer os procedimentos de inspeção e o preenchimento do respetivo relatório, de forma a que os resultados finais não dependam da subjetividade do inspetor;
- ✓ acrescentar métodos de diagnóstico que entretanto forem surgindo no mercado e aplicar os mesmos no mercado português, estudando de forma aprofundada a rentabilidade e aplicabilidade dos métodos;
- ✓ avaliar experimentalmente a adequação das técnicas de diagnóstico às anomalias, por não terem sido aplicados efetivamente mas apenas sugeridos;
- ✓ desenvolver estudos de durabilidade para os vários constituintes do sistema de cobertura, incluindo a monitorização e temporização dos processos de degradação associados, de forma a estimar a duração da sua vida útil; procurar desenvolver novos materiais capazes de resistir às ações mais responsáveis pela degradação dos materiais;
- ✓ divulgação da problemática da patologia associada às coberturas em terraço, no que diz respeito à melhoria da conceção e execução de uma cobertura (com especial destaque para as zonas singulares), de modo a reduzir os fenómenos patológicos.

Referências bibliográficas

- AGENCE QUALITÉ CONSTRUCTION (AQC) - "Observatoire de la qualité de la construction 2002". pp. 32 a 45, Junho 2002.
- AGUIAR, J.; CABRITA, A.; APPLETON, J. - "Guião de apoio à reabilitação de edifícios habitacionais". Vol. 1 e 2, LNEC-DGOT, Lisboa, 1997, ISBN 972-49-1726-6.
- ALMEIDA, F. - "Controlo da qualidade de obras em fase de execução - Estudo comparativo França - Portugal". Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014.
- ALVES, J. - "Impermeabilização e isolamento térmico de coberturas em terraço, sistemas construtivos e patologias". Instituto superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2013.
- AMADO, M. - "Edifício sustentável - manutenção. Documento de apoio às aulas de Gestão do Território e Prevenção de Riscos". FCT-UNL, Lisboa, 2013.
- ANDERNACH, W. - "The ten-year experience in europe with one and two ply systems with bituminous and plastic roofing membranes. Proceedings of the symposium on roofing technology". National Bureau of Standards / National Roofing Contractors Association, September 21-23, 1977. Paper n.º1.
- ANEXO I do Regulamento n.º 305/2011 da União Europeia.
- ANTÓNIO, D. - "Reabilitação de revestimentos de impermeabilização de coberturas em terraço - Estudo experimental da ligação entre membranas novas e envelhecidas". Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2011.
- APICC - "Manual de aplicação de telhas cerâmicas". Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro, Coimbra, 1998.
- APPLETON, J. - "Estudos de diagnóstico em edifícios. Da experiência à ciência. A intervenção no património. Práticas de conservação e reabilitação". Porto, FEUP, 2002.
- APPLETON, J. - "Reabilitação de edifícios antigos: patologias e tecnologias de intervenção". 1.ª Ed. Edições Orion, Lisboa, 2003. ISBN 972-8620-03-9.
- ARAÚJO, A., BRITO, J. de; JÚLIO, E. - "Manual de inspeção de patologia exterior de construções edificadas em Portugal no período de 1970 a 1995". Relatório ICIST, DTC n.º 12/08, 2008.
- ASPE (American Society of Plumbing Engineers) - "Storm drainage systems". Continuing education from the American Society of Plumbing Engineers, EU 207, 2014.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR) - "Étanchéité. Cartons feutres goudronnés dits: feutres goudronnés". AFNOR, p. 84 - 306, Paris, 1971.
- ASTM - "Guide for flood testing horizontal waterproofing installations". USA, 1998.
- AZEVEDO, A. - "O preço da impermeabilização". Simpósio Brasileiro de impermeabilização, p.17-20. São Paulo, 1993.
- BASKARAN, A.; SMITH, T. - "A Guide for the wind design of mechanically attached flexible membrane roofs". Institute for Research in Construction National Research Council of Canada, Ottawa, 2005.
- BASKARAN, B.; SMITH, T. - "Wind uplift design of flexible membrane roofs". NRCC - 50466, 4th International Conference on Advances in Wind and Structures, pp. 911-919, Korea, 2008.
- BRITISH BOARD OF AGRÉMENT (BBA) - "Carlisle sureseal reinforced EPDM mechanically fixed roof waterproof covering". Garston, BBA, June, 1988. Agrément Certificate n.º 88/2053. (b)
- BRITISH BOARD OF AGRÉMENT (BBA) - "Dow reinforced CPE roof covering systems". Garston, BBA, January, 1989. Agrément Certificate n.º 89/2146. (b)

- BRITISH BOARD OF AGRÉMENT (BBA) - "Firestone EPDM rubbergard systems". Garston, BBA, March, 1989. Agrément Certificate n.º 89/2216. (a)
- BRITISH BOARD OF AGRÉMENT (BBA) - "GRANFLEX KEMPEROL V210 and S210 roof covering systems". Garston, BBA, May, 1986. Agrément Certificate n.º 86/1582/C. (a)
- BRITISH BOARD OF AGRÉMENT (BBA) - "HYFLEX 10 roof waterproofing system". Garston, BBA, August 1989. Agrément Certificate n.º 89/2283. (b)
- BRITISH BOARD OF AGRÉMENT (BBA) - "HYFLEX 5 ASBESTOS FREE system of roof waterproofing". Garston, BBA, March 1989. Agrément Certificate n.º 87/1942.(a)
- BRITISH BOARD OF AGRÉMENT (BBA) - "TRIFLEX-D roof covering systems". Garston, BBA, March, 1986. Agrément Certificate n.º 86/1596/C. (b)
- BRITISH BOARD OF AGRÉMENT (BBA) - "Versigard single ply EPDM roof waterproof covering". Garston, BBA, June, 1988. Agrément Certificate n.º 88/2052. (a)
- BRITO, J. de - "Desenvolvimento de um sistema de gestão de obras de arte em betão". Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1992.
- BROTHERSON, D. - "An investigation into the causes of built-up roofing failures". Research report 61-2, University of Illinois small homes council - Building Research Council, October, 1961.
- BUREAU SECURITAS - "Étude statistique de 10000 dossiers de sinistres". Annales l'instut technique du bâtiment et des travaux publics, nº 378, Paris, 1979.
- CABRITA, R.; AGUIAR, J. - "Monografia portuguesa sobre inovação e reabilitação de edifícios". LNEC ITE 17, Lisboa, 1998.
- CAPOLINO, R. - "Integrity testing". RCI, Interface, 2004.
- CARINO, N.; CLIFTON, J. - "Nondestructive evaluation methods for quality acceptance of installed building materials". Journal of research of the National Bureau of Standards, Vol. 87, Washington, 1982.
- CARLSON, J.; SMITH, T.; WALZAK, T. - "Steel deck corrosion associated with phenolic roof insulation". National Roofing Contractors Association, 108, Rosemont.
- CEJA, C. - "Recommended test procedure for high-voltage membrane integrity testing". 28TH RCI International Convention and Trade Show, Chicago, 2013.
- CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT (CSTB) - "Travaux d'étanchéité des toitures-terrasses avec éléments porteurs en maçonnerie". Document Technique Unifié 43.1., CSTB, Paris, 1981.
- CHAIZE, A. - "Contribution à l'étude du comportement des isolants thermique utilisables comme support de revêtements d'étanchéité de toitures". Proceedings of the Symposium on Roofing Techonology, National Bureau of Standards/National Roofing Contractors Association, September, 1977, Paper nº19.
- CHUDLEY, R.; GREENO, R. - "Construction technology", Pearson Education Limited, UK, 2005.
- CNUdde, M. - "Lack of quality in construction - economic losses". European Symposium on Management, Quality and Economics in Housing (Ed. A. Bezelga e P. Brandon), E&FN Spon, pp. 508-515. Londres, 1991.
- CÓIAS, V. - "Inspeção e ensaios na reabilitação de edifícios". Lisboa: IST Press, 2006.
- COMMISSION CHARGÉE DE FORMULER DES AVIS TECHNIQUES. GROUPE SPÉCIALISÉ N° 5 - "Avis sur le revêtement d'étanchéité MEYCOPREN". Paris, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), Avis Technique n.º 5/84-472, Paris, 1984.
- COMMISSION CHARGÉE DE FORMULER DES AVIS TECHNIQUES. GROUPE SPÉCIALISÉ N°5 - "Procédé d'étanchéité de toitures par résine REVETANCHE". Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

(CSTB), Avis Technique n.º 5/87-607, Paris, 1987.

COOK, N. J. - "Dynamic response of single-ply membrane roofing systems". Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, v 42(n 1-3), p 1525-1536, 1992, Journal article.

CORDEIRO, I. - "Manual de inspecção e manutenção da edificação". Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2011.

COSTA, J. - "Controlo e garantia da qualidade - Aplicação a edifícios de habitação". Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.

CULLEN, W. - "Effects of thermal shrinkage on built-up roofing." U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards. p(1-6), United States of America, 1965.

CULLEN, C. - "Trends and developments of industrial roofing in the USA". 2th International Symposium on Roofs and Roofing, Brighton, 21-24 September 1981, volume 1^o. London, Society of Chemical Industry, 1981.

DELGADO, J. - "Coberturas em terraço II – Suportes de impermeabilização", in "Coberturas de Edifícios. Curso de Promoção Profissional 516". LNEC, Lisboa, 1976.

DIXON, C.; PREVATT, D. - "What do we learn from the wind uplift tests of roof Systems." ASCE Structural Congress 2010. <http://www.davidoprevatt.com/wp-content/uploads/2010/02/dixon-prevatt-struct-cong-wind-uplift-testing-01-25-2010.pdf>, (acesso em 26 Março 2015).

DWIGHT, F.; JENNINGS, P. - "Preventing blistered built-up roofs". 2nd International Symposium on Roofs and Roofing, Brighton, 1981.

EDWARDS, R. - "Flat roofs in the UK and the integrated system approach". Herts, England.

EPSTEIN, K.; PUTNAM, L. - "Performance criteria for the protected membrane roof system". Proceedings of the symposium on roofing technology, NBS/NRCA, Washington, September, 1977.

FAGUNDES, F. - "Atividades de controlo técnico de impermeabilizações em coberturas planas". Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2013.

FARHI, E.; CHAIZE, A. - "Les revêtements d'étanchéité de toitures à base de hauts polymères en France". International Symposium on Roofs and Roofings, Brighton, 9-13 September 1974, volume 1^o. London, Society of Chemical Industry/Agrément Board, 1974. Paper 42.

FIGUEIREDO, J. - "Levantamento de anomalias nos sistemas impermeabilizantes de coberturas planas". Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2012.

FLORES-COLEN, I. - "Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva". Dissertação de Doutoramento, Instituto Superior Técnico, 2008.

FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. de; FREITAS, V. - "Técnicas de ensaio *in situ* para apoio à manutenção predictiva de rebocos de fachada". 2^o Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios. Porto, FEUP, 2006.

FRANK, J.; KOONTZ, J.; VALAITIS, J. - "Aging and Hail Research of PVC Membranes". 12th International Roofing and Waterproofing Conference, 2002.

JORNE, F. - "Análise do comportamento higrotérmico da solução ETICS na óptica da identificação e reparação de anomalias". 4^o Congresso Português de Argamassas e ETICS, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2012.

FREITAS, V. - "Manual de apoio ao projecto de reabilitação de edifícios antigos", 1^a Ed., Ordem Engenheiros da Região Norte, Porto, 2012, ISBN 978-972-99918-7-5.

FREITAS, V. e SOUSA, M. - "Building pathology - A catalogue". 2nd International Symposium on Building Pathology, Durability and Rehabilitation, Lisboa, 2003.

- FREITAS, V. - "Patologia da construção". 7^{as} Jornadas de Construções Civis, pp. 3-18, 1999.
- GAMA, V. - "Recomendações para a concepção arquitetónica da envolvente dos edifícios na perspectiva da durabilidade". Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, dezembro 2005.
- GARCEZ, N. - "Sistema de inspeção e diagnóstico de revestimentos exteriores de coberturas inclinadas". Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2009.
- GARCIA, J. - "Sistema de inspeção e diagnóstico de revestimentos epóxicos em pisos industriais". Dissertação de Mestrado em Construção. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Janeiro de 2006.
- GIBSON, C.; HOLLIS, M. - "Surveying buildings". Technische Universiteit Eindhoven. RICS books, 12 Great George Street, London, 1991. ISBN 0854064648.
- GONÇALVES, A.; BRITO, J. de; BRANCO, F. - "Reabilitação de paredes de alvenaria revestidas". 2^o Congresso Nacional de Argamassas de Construção, Comunicação, Lisboa, 2007.
- GONÇALVES, C. - "Desenvolvimento de metodologia de avaliação da qualidade de projectos de edifícios de serviços". Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.
- GONÇALVES, M. - "Revestimentos de Impermeabilização de Coberturas em Terraço com base em Membranas Prefabricadas - Comportamento de Juntas de Sobreposição". Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2004.
- GONÇALVES, M.; LOPES, J.; BRITO, J. de; LOPES, G. - "Mechanical performance of lap joints of flat roof waterproofing membranes". Society for Experimental Mechanics, Vol.32., p. 50-57, 2007.
- GRANDÃO, L. - "Patologia em revestimentos de impermeabilização de coberturas fixados mecanicamente". 1^o Encontro Nacional sobre Patologias e Reabilitação de Edifícios, PATORREB, Porto, 2003.
- GRIFFIN, C. - "Manual of built-up roof systems". New York, McGraw-Hill Book Company, 2nd Ed., 1982.
- HARRIMAN, R. - "The Top 10 most common roof problems - Discover and Understand the Problems Plaguing Low-slope Roofs Everywhere". Buildings magazine, 2004.
- HEDLIN, C. - "Some design characteristics of insulation in flat roofs related to temperature and moisture". 5th Conference on Roofing Technology, National Research Council of Canada, 1979.
- HENSHELL, J. - "When is a waterproofing membrane not a When is a waterproofing membrane". RCI Interface, Roof Consultants Institute, <http://www.rci-online.org/interface/2008-06-henshell.pdf> 2008, 2008. ((acesso 26 Março 2015).
- HOGLUND, I.; ESPLING, R.; HILDING, G. - "Functional studies of flat roofs covered with membranes of butyl rubber, in "La qualité pour les usagers des bâtiments a travers le monde". Rotterdam, Conseil International du Bâtiment pour la Recherche l'Étude et la Documentation (CIB), 1989.
- HONZA, D. - "Electronic leak detection: A quality assurance tool". RCI, Interface, 2010.
- INE; Censos 2011 - "Recenseamento da população e da habitação (Portugal)", INE; Lisboa; 2012.
- INSTITUT TECHNIQUE DU BÂTIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS (ITBTP) - "Étude statistique de 12200 cas de sinistres survenues en 1982". Annales de l'ITBTP, Paris, 426, Juillet/Août. Série: Questions Générales 162.
- INSTITUTO EDUARDO TORROJA DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEL CEMENTO (IETcc) - "Sistema de impermeabilización TEIMLAM". Madrid, IETcc, Mayo, 1988. Documento de Idoneidad Técnica DIT 182.
- INSTITUTO ESPAÑOL DE NORMALIZACIÓN (IRANOR) - "Alquitranes y breas". Madrid, IRANOR, 1985. UNE 104-203-83.
- ITC - "Applications of infrared thermography for the inspection of commercial and residential buildings". Infrared Training Centre & Building Science Institute. Boston, 2005.

- KAMINETZKY, D. - "Design and construction failures - Lessons from forensic investigations". McGraw-Hill, New York, 1991.
- KIRBY, J. - "Avoiding ponding water by positive drainage." Professional Roofing. NRCA p (56), 1997.
- KNAB, L.; MATHEY, R.; JENKINS, D. - "Laboratory evaluation of nondestructive methods of Measure moisture in built-up roofing systems". National Bureau of Standards Building Science Series 131, 1981.
- KOIKE, M. - "Membrane roofing systems in Japan". Proceeding of the Symposium on Roofing Technology, National Bureau of Standards/National Roofing Contractors Association, September 21-23, 1977. Paper n.º2.
- LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL - "Principais características e ensaios dos betumes". Procº 92/15/6171. Lisboa, LNEC, Fevereiro de 1981. Relatório.
- LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (LNEC). DIVISÃO DE COMPORTAMENTO DAS CONSTRUÇÕES (NCC) - "Lista de documentação normativa relativa a revestimentos de impermeabilização". Proc. 83/14/4217. Lisboa, LNEC, Dezembro de 1976. Relatório.
- LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (LNEC). NÚCLEO DE COMPORTAMENTO DAS CONSTRUÇÕES (NCCt) - "Acabamentos na construção. Disciplina 13 do 2º Curso de Mestrado em Construção "Tecnologia e Economia de Edifícios"". (IST, 1987-88). Lisboa, LNEC, Janeiro de 1989. Relatório.
- LAGES, A. - "Coberturas de edifícios - Aplicação de um sistema pericial na avaliação do custo e qualidade". Gabinete de Construções Civas, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Dissertação de Mestrado EM Engenharia Civil, Porto, 1994.
- LAWSON, J. - "Roof drainage - Not my problem... Maybe". Structural Engineers Association of California 2012 Convention Proceedings, San Luis Obispo, 2012.
- LE GROUPE DE COORDINATION DES TEXTES TECHNIQUES – "Conception du gros oeuvre en maçonnerie des toitures destinées a recevoir un revêtement d'étanchéité." Document Technique Unifié (DTU). Cahiers du CSTB, Paris (182), Cahier 1459, septembre 1997. DTU 20.12.
- LE GROUPE DE COORDINATION DES TEXTES TECHNIQUES - "Travaux d'étanchéité des toitures terrasses et des toitures inclinées". Document Technique Unifié (DTU). Cahiers du CSTB, Paris, (165), Cahier 1353, 1986. DTU 43.
- LOPES, J. - "Anomalias em impermeabilizações de coberturas em terraços", Lisboa : LNEC, 1994.
- LOPES, G. - "Reabilitação da envolvente de edifícios na ótica da estanquidade à água". Seminário APCMC - Reabilitação Sustentável, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2012.
- LOPES, J. - "Revestimento de impermeabilização de coberturas em terraço". Informação técnica de edifícios ITE 34, LNEC, Lisboa, 2010.
- LOPES, J. - "Anomalias em impermeabilizações de coberturas em terraço". Lisboa: LNEC - ITE 33, 2002.
- LOPES, M. - "Manual de diagnóstico e intervenção em coberturas planas". Texsa, Lisboa, 2003. (Traduzido e adaptado de TRUJILLO, Lara; CAULA, Lluís)
- MALPEZZI, J.; GILLENWATER, R. - "Static vs. dynamic: A wind uplift testing study". National Roofing Contractors Association, 10th Conference on Roofing Technology, Gaithersburg, 1993.
- MARQUES, J. - "Desempenho do granulado de autoprotecção de membranas betuminosas". IST, Dissertação de mestrado em engenharia civil. Lisboa, 2009.
- MASCARENHAS, J. - "Sistemas de construção". 4ª Ed., Livros horizonte, Lisboa, 2008.
- MATT, O. - "A comparison of nondestructive roof testing methods". StructureScan, CDT, CIT, s.d.
- MEDEIROS, H. - "Coberturas de edifícios - Coberturas em terraço". Curso de promoção profissional

516, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1976.

MENDONÇA, L. - "Termografia por infravermelhos". Revista Engenharia & Vida. N.º 16 (2005a), pp. 53-57.

MORGADO, J. - "Plano de inspecção e manutenção de coberturas de edifícios correntes". Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2012.

NASA - "Reliability centered maintenance guide for facilities and collateral equipment". National Aeronautics and Space Administration, Washington, D.C, 2000.

NELSON, P. - "Failure investigation and testing of single-ply roofing membranes." National Roofing Contractors Association. pp. 86-88, 1985.

NETO, N.; BRITO, J. de - "Inspection and anomaly diagnosis support system for natural stone cladding". Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.º17, pp.9-23, 2011.

NEVANDER, L. - "Roofs and roofing in Sweden". Symposium on Roofing Technology, National Bureau of Standards/National Roofing Contractors Association, September 21-23, 1977. Paper 42.

NORMA EUROPEIA EN 13707 - "Flexible sheets for waterproofing - Reinforced bitumen sheets for roof waterproofing - Definitions and characteristics". Lisboa, 2004.

NRCA - "Roof system types." National Roofing Contractors Association, 2012.

NRCA - "Handbook of accepted roofing knowledge (HARK)". National Roofing Contractors Association, Rosemont, 1989.

NRCA - "The NRCA roofing manual: membrane roof systems-2011". National Roofing Contractors Association, Rosemont, 2011.

PAIVA, J.; AGUIAR, J.; PINHO, A. - "Guia técnico de reabilitação habitacional." 1ª Ed., Instituto Nacional de Habitação - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2006. ISBN: 972-49-2081-X. Vol. 1 e 2.

PAROLI, R.; BOOTH, R.; MURRAY, A. - "Blistering in built-up roofs: A review". 4th International Symposium on Roofing Technology, Gaithersburg, 1997.

PAROLI, R.; BOOTH, R. - "Ways to reduce blistering in built-up roofs". National Research Council of Canada, Institute for Research in Construction, Construction Technology Update No. 4, Canada, 1997, ISSN 1206-1220.

PATTERSON, S.; MEHTA, M. - "Life safety issues in roof design," 25th International Convention, pp. 191-212, RCI, North Carolina, 2010.

PAULO, P. e SERÔDIO, P. - "Coberturas em terraço, apontamentos das aulas da cadeira de tecnologia da construção de edifícios". IST, Lisboa, 2012.

PEDROSO, V. M. R. - "Regras de dimensionamento das redes prediais de distribuição de e de drenagem de águas residuais domésticas e pluviais – ITE 31". Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2011.

PEREIRA, A. - "Sistema de inspecção e diagnóstico de estuques correntes em paramentos interiores". Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Lisboa, 2008.

PICCHI, F. - "Impermeabilização de coberturas". São Paulo, Instituto Brasileiro de Impermeabilização / Editora Pini, Lda., 1986.

PIERCE, H. - "The top 10 most common roof problems - Discover and understand the problems plaguing low-slope roofs everywhere". Buildings magazine, 2004.

PINTO, D. - "Importância da pormenorização construtiva na reabilitação de edifícios – Reabilitação de coberturas". Dissertação mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.

- POMBO, J. - "Revestimentos de coberturas em terraço - Tecnologia, desempenho, patologia e reabilitação". Apresentação Imperialum, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2014.
- POTTER, J. - "Achieving the perfect flat roof". International Symposium on Roofing Technology, United Kingdom, 1991.
- POTTER, J. - "The way ahead for flat roofing". Newcastle-upon-Tyne, England, s.d.
- POWELL, F.; ROBINSON, H. - "The effect of moisture on the heat transfer performance of insulated flat roof constructions". Building Science, series 37, 1971.
- Projeto de impermeabilização / isolamento térmico. Memória descritiva, condições técnicas. <http://www.imperialum.com/cmgestao/include/imagedisp.asp?id=2141>
- Revestimento de impermeabilizações de tabuleiros de pontes. Documento de aplicação DA 32. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2012.
- Revestimentos de impermeabilização de coberturas. Documento de aplicação DA 14. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2007.
- ROBERTS, K. - "Electrical capacitance testing". RCI technical note, United Kingdom, 2006.
- HOLMES B. ; RYLL E.; TRUONG D. - "Roof failure", Interactive Qualifying Project Report completed in partial fulfillment of the Bachelor of Science degree at Worcester Polytechnic Institute, Worcester, 2009
- PAYNE, M. - "Roofs - Collapse and performance failures", PSU B.A.E./M.A.E., Fall, 2012.
- SCHILD, E. - "L'étanchéité des l'habitation. Préventions des sinistres". Éditions Eyrolles. Tome1 – Toitures-terrasses. Balcons. Points faibles. Paris, 1978.
- SCHWETZ, J. - "Risks of roofing over concrete decks". RCI technical note, Interface, 2014.
- SILVA, J.; GONÇALVES, P. - "Patologias correntes em coberturas planas em Portugal". Congresso Nacional da Construção, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2001.
- SILVESTRE, J.; BRITO, J. de - "Inspeção e diagnóstico de revestimentos cerâmicos aderentes". Instituto Superior Técnico, Revista Engenharia Civil Universidade do Minho, nº30, 2008.
- SILVESTRE, J.; BRITO, J. de, - "Development of a supporting system for inspection and diagnosis of ceramic wall or floor tiling laid on mortar or adhesive". Congresso CIB W102 - 2005: Meeting on Information and Knowledge Management in Building and International Conference on Information and Knowledge Management in a Global Economy, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2005.
- SOUSA, M. - "Patologia da construção - elaboração de um catálogo". Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2004.
- THORNTON, S. - "Electronic leak detection". RCI Symposia, Seattle and Cincinnati, 2001.
- TOBIASSON, W. e KORHONEN, C. - "Roof moisture surveys: yesterday, today and tomorrow". Symposium on Roofing Technology, U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory (CRREL), Hanover, 1985.
- UNION BELGE POUR L'AGREMENT TECHNIQUE DANS LA CONSTRUCTION (UBAtc) - "Système de régénération et de réparation de toitures existantes au DAKFILL". Bruxelles, UBAtc, Octobre 1978. ATG 1279.
- UNION EUROPÉENNE POUR L'AGRÉMENT TECHNIQUE DANS LA CONSTRUCTION (UEAtc) - "Guide technique complémentaire UEAtc pour l'agrément des revêtements d'étanchéité de toitures fixés mécaniquement". Paris, UEAtc, Avril 1991. Cahiers du CSTB, Paris (321), Cahier 2510, Juillet-Août 1991.
- WAGONER, J. - "Compatibility of roofing insulations and membranes". National Roofing Contractors Association, Prospect Enterprises, Inc., Sterling, Va.


- WALTER A.; LOPES, J.; BRITO, J. de - "Flat-roof waterproofing. To prevent anomalies on its surface". 2nd International symposium on building pathology, durability and rehabilitation. LNEC, Lisbon. 2003, pp. 519-528.
- WARSECK, K. - "Roof failure: effect and cause". Building Operating Management. p(32-36), 2003.
- WILEN, J. - "Art and science of electronic leak detection". National Roofing Contractors Association, Professional Roofing Magazine, VOL.42, Issue 11, Rosemont, 2012 (a).
- WILEN, J. - "Still water runs deep". Professional Roofing Magazine, July 2012, National Roofing Contractors Association, Rosemont, 2012 (b).
- WITA - "Non-destructive testing of roof and other membrane waterproofing coverings". Guidance notes, Waterproofing integrity test association, United Kingdom, 2012.


Documentos eletrônicos


- <http://www.colegiodearquitetos.com.br/dicionario/2009/02/o-que-e-junta-de-dilatacao/>, consultado em 18/03/2015
- <http://www.danosa.com>, consultado em 17/03/2015, 01:38.
- <http://www.buellinspections.com/page/73/>, consultado em 13/03/2015, 01:27.
- <http://www.singleply.co.uk/flat-roof-leaks-failures-prevent/> consultado em 03/02/2015, 22:35
- http://condominiofontanaditrevis.blogspot.pt/2012_12_01_archive.html, consultado em 20/02/2015, 15:11.
- <http://www.economie.grandlyon.com/>, ficha nº8, consultado em 21/02/2015, 16:09
- <http://www.comptoirdeletancheite.fr/>, DTU 43.1, consultado em 21/02/2015, 16:17.
- <http://www.nachi.org/success.htm> consultado em 03/02/2015, 22:34
- <http://www.bosch-professional.com/pt/pt/gim-60-l-24712-ocs-p/>, consultado em 16/03/2015.
- http://whyarchitectsdrink.blogspot.pt/2007_03_01_archive.html, consultado em 13/03/2015, 10:51.
- <http://www.engenhariacivil.com/degradacao-materiais-construcao-accao-agua>, consultado em 21/02/2015, 10:29
- <http://www.greenspec.co.uk/building-design/concrete-flat-roof-insulation/>, consultado em 09/03/2015.
- <http://www.iranalyzers.com/VectorMappingBrochure.pdf>, consultado em 03/03/2015, consultado em 03/03/2015
- <https://www.twistfix.co.uk/fix-leaking-flat-roofs-with-seamless>, consultado em 09/03/2015, 23:46.
- http://inspectapedia.com/roof/EPDM_Roof_Repair.php, consultado em 12/03/2015, 14:00.
- <http://www.greenrooftechnology.com/green-roof-blog/tag/maintenance/page/2/>, cosultado em 12/03/2015, 14:53.
- <http://monumentalrenovation.blogspot.pt/>, consultado em 13/03/2015, 00:13.
- <https://rdherbert.wordpress.com/tag/low-slope-roof/>, consultado em 13/03/2015, 21:18.
- <http://www.aerialcloseup.co.uk/>, consultado em 16/03/2015, 10:27
- <http://www.archiproducts.com/pt/produtos/172220/stonex-construction-instrumento-de-medicao-controlo-termografia-infravermelho-stonex-ld9-stonex-europe.html>, consultado em 16/03/2015.
- http://failures.wikispaces.com/Roofs_Collapse+and+Performance+Failures#x-Performance Failures-Blistering, consultado em 04/12/2014, 18:22.
- <http://www.buildings.com/article-details/articleid/1735/title/the-top-10-most-common-roof-problems.aspx>, consultado em 28/11/2014, 13:09

Anexos


Anexo 3.I
Fichas de anomalías

| FICHA DE ANOMALIA A-G1 | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Desgaste superficial | |
| DESCRIÇÃO: | |
| Traduz-se no desgaste, envelhecimento ou oxidação das camadas da cobertura. | |
| CAUSAS PROVÁVEIS: | |
| - escolha inadequada dos materiais (CP-11) | |
| - presença prolongada de água / chuva (CA-4) | |
| - dificuldade / ausência de acesso aos paramentos (CP-10) | |
| - radiação ultravioleta/solar (CA-2) | |
| - envelhecimento natural (CA-6) | |
| - ciclos de humedificação-secagem (CA-7) | |
| - alteração do tipo de utilização da cobertura (CU-4) | |
| CONSEQUÊNCIAS POSSÍVEIS: | |
| - degradação do revestimento | |
| - degradação das camadas subjacentes ao revestimento por contacto com a água | |
| - fratura do revestimento de impermeabilização | |
| - fissuração do revestimento de impermeabilização | |
| - perda de ductilidade da membrana de impermeabilização | |
| ASPETOS A INSPECIONAR: | |
| - adequabilidade do material de impermeabilização à exposição solar | |
| - integridade da camada exposta | |
| - espessura da camada de impermeabilização | |
| ENSAIOS A REALIZAR: | |
| - inspeção visual (D-A1) | |
| PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO: | |
| - condições para que o fenómeno progrida (S/N) | |
| - estado de degradação: alto (A); baixo (B) | |
| NÍVEL DE GRAVIDADE / URGÊNCIA DE REPARAÇÃO: | |
| 1 - quando houver condições para progressão do fenómeno ou estado de degradação alto | |
| 2 – restantes casos | |

| FICHA DE ANOMALIA A-G2 | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Fratura / rotura | |
| DESCRIÇÃO: | |
| <p>A designação “fratura / rotura” entende-se como um caso extremo de fissuração e pode ocorrer tanto em zona corrente como em pontos singulares.</p> | |
| CAUSAS PROVÁVEIS: | |
| - conceção / pormenorização deficiente das camadas a aplicar (CP-1) | |
| - conceção / pormenorização deficiente das juntas de dilatação ou sua deficiente execução (CP-2, CE-5) | |
| - dificuldade / ausência de acesso aos paramentos (CP-10) | |
| - escolha inadequada dos materiais (CP-11) | |
| - deficiente fixação mecânica à estrutura conjugado com ação do vento (CE-10, CA-1) | |
| - ação da radiação ultravioleta / solar (CA-2) | |
| - ataque das raízes da vegetação (CA-5) | |
| - envelhecimento natural (CA-6) | |
| - fadiga provocada pelos ciclos de humedificação-secagem (CA-7) | |
| - cargas pontuais de natureza dinâmica e estática (CM-1, CM-2) | |
| CONSEQUÊNCIAS POSSÍVEIS: | |
| - zonas de infiltração de água | |
| - agravamento da degradação da membrana de impermeabilização | |
| - agravamento da degradação do sistema da cobertura em resultado das infiltrações | |
| - aspeto estético afetado | |
| - comprometimento da capacidade de drenagem da cobertura | |
| ASPECTOS A INSPECIONAR: | |
| - existência de infiltrações de água (S/N) | |
| - materiais adequados (S/N) | |
| - área afetada: (...) % | |
| ENSAIOS A REALIZAR: | |
| - inspeção visual (D-A1) | |
| - deteção elétrica de infiltração (D-B1) | |
| - teste da capacidade elétrica ou capacitância (D-B2) | |
| - termografia de infravermelhos (D-C1) | |
| - medição nuclear (D-D1) | |
| PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO: | |
| - condições para que o fenómeno progrida (S/N) | |
| - apenas manchas no teto e/ou paredes do último piso e/ou outros efeitos secundários (S/N) | |
| NÍVEL DE GRAVIDADE / URGÊNCIA DE REPARAÇÃO: | |
| 0 - quando existirem infiltrações de água | |
| 1 - quando houver condições para progressão do fenómeno ou quando existirem manchas no teto ou paredes | |
| 2 - nos restantes casos | |

| FICHA DE ANOMALIA A-G3 | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Descolamento / arrancamento | |
| DESCRIÇÃO: | |
| <p>Caracteriza-se por uma separação total ou apenas parcial de uma camada, seja na zona corrente ou em remates.</p> | |
| CAUSAS PROVÁVEIS: | |
| - conceção / pormenorização deficiente dos elementos emergentes (CP-3) | |
| - conceção / pormenorização deficiente das juntas de sobreposição ou a sua deficiente execução (CP-6, CE-6) | |
| - conceção/pormenorização deficiente de remates e elementos de proteção associados ou a sua deficiente execução (CP-8, CE-4) | |
| - escolha inadequada dos materiais (CP-11) | |
| - falta de qualidade na mão de obra (CE-1) | |
| - aplicação em tempo húmido / chuvoso (CE-2) | |
| - deficiente fixação mecânica à estrutura ou deficiente colocação da membrana de impermeabilização (CE-10, CE-11) | |
| - ação de vento (CA-1) | |
| - ação da radiação ultravioleta/solar, nos remates (CA-2) | |
| - ciclos de humedificação-secagem (CA-7) | |
| - vandalismo (CU-5) | |
| CONSEQUÊNCIAS POSSÍVEIS: | |
| - infiltrações da água da chuva | |
| - degradação do sistema da cobertura em resultado da penetração da água | |
| - efeito estético afetado | |
| - fratura da membrana de impermeabilização | |
| ASPETOS A INSPECIONAR: | |
| - zona ventosa | |
| - zona da cobertura onde se dá o arrancamento | |
| - remates periféricos expostos à ação do vento | |
| - tipo de proteção | |
| - estado de deterioração da membrana descolada | |
| - rasgamento da membrana impermeabilização junto a peças de fixação dos sistemas fixados mecanicamente | |
| - tipo de ligação do sistema ao suporte | |
| - estado dos remates junto dos elementos emergentes | |
| - ocorrência de infiltrações | |
| ENSAIOS A REALIZAR: | |
| - inspeção visual (D-A1) | |
| PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO: | |
| - infiltrações significativas de água no teto e/ou paredes do último piso (S/N) | |
| - apenas manchas no teto e/ou paredes do último piso e/ou outros efeitos secundários (S/N) | |
| - valor estético das áreas afetadas (A-alto; B-baixo) | |
| NÍVEL DE GRAVIDADE / URGÊNCIA DE REPARAÇÃO: | |
| 0 - quando existirem infiltrações de água | |
| 1 - se forem detetadas apenas manchas no teto e/ou paredes do último piso e/ou outros efeitos secundários e valor estético das áreas afetadas for alto | |
| 2 - nos restantes casos | |

| FICHA DE ANOMALIA A-G4 | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Formação de pregas / empolamento | |
| DESCRIÇÃO: | |
| <p>Consiste na separação da membrana de impermeabilização do seu suporte, traduzindo-se no aparecimento de pregas ou empolamentos.</p> | |
| CAUSAS PROVÁVEIS: | |
| - conceção / pormenorização deficiente das camadas a aplicar (CP-1) | |
| - conceção / pormenorização deficiente das juntas de dilatação ou a sua deficiente execução (CP-2, CE-5) | |
| - falta de qualidade na mão de obra (CE-1) | |
| - aplicação em tempo húmido/chuvoso (CE-2) | |
| - deficiente armazenamento/transporte de materiais (CE-3) | |
| - deficiente colocação da membrana de impermeabilização (CE-11) | |
| - ação da radiação ultravioleta / solar (CA-2) | |
| - presença de humidade (CA-3) | |
| - ciclos de humidificação-secagem (CA-7) | |
| CONSEQUÊNCIAS POSSÍVEIS: | |
| - perda de ductilidade da membrana de impermeabilização | |
| - acumulação de água nas imediações destas áreas | |
| - fissuração | |
| - fratura / rotura da membrana de impermeabilização | |
| - desgaste superficial | |
| - efeito estético afetado | |
| - aparecimento de manchas de humidade e infiltrações | |
| ASPETOS A INSPECIONAR: | |
| - ondulações visíveis no revestimento de impermeabilização (S/N) | |
| - fissuração da membrana originando infiltrações de água (S/N) | |
| - fenómeno estabilizado (S/N) | |
| - retenção de água nas imediações destas áreas (S/N) | |
| - suporte em condições satisfatórias (superfície plana) (S/N) | |
| - impermeabilização aplicada sobre uma superfície molhada ou húmida (S/N) | |
| - impermeabilização aplicada sobre uma superfície irregular com saliências significativas (S/N) | |
| ENSAIOS A REALIZAR: | |
| - inspeção visual (D-A1) | |
| - termografia de infravermelhos (D-C1) | |
| PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO: | |
| - condições para que o fenómeno progrida (S/N) | |
| - estado de degradação da membrana empolada: alto (A); baixo (B) | |
| - valor estético das zonas afetadas: alto (A); baixo (B) | |
| NÍVEL DE GRAVIDADE / URGÊNCIA DE REPARAÇÃO: | |
| 0 - quando o estado de degradação é alto | |
| 1 - sempre que o fenómeno não estabilizou; em zonas de alto valor estético para o público | |
| 2 - nos restantes casos | |

| FICHA DE ANOMALIA A-G5 | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Fissuração | |
| DESCRIÇÃO: | |
| <p>Traduz-se no aparecimento de fissuras na camada, em zona corrente ou pontos singulares, ou no paramento interior do teto.</p> | |
| CAUSAS PROVÁVEIS: | |
| - conceção / pormenorização deficiente das camadas a aplicar (CP-1) | |
| - conceção / pormenorização deficiente das juntas de dilatação ou a sua deficiente execução (CP-2 , CE-5) | |
| - escolha inadequada dos materiais (CP-11) | |
| - ação da radiação ultravioleta / solar (CA-2) | |
| - envelhecimento natural (CA-6) | |
| - ciclos de humedificação-secagem (CA-7) | |
| CONSEQUÊNCIAS POSSÍVEIS: | |
| - zonas de acumulação e infiltração de água | |
| - nos sistemas aderentes existe maior probabilidade de ocorrência de fissuras | |
| - aparecimento de vegetação parasitária / colonização biológica | |
| - perda de ductilidade da membrana de impermeabilização | |
| - efeito estético afetado | |
| ASPETOS A INSPECIONAR: | |
| - fissuras generalizadas / localizadas (G/L) | |
| - existência de infiltrações | |
| ENSAIOS A REALIZAR: | |
| - inspeção visual (D-A1) | |
| PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO: | |
| - condições para que o fenómeno progrida (S/N) | |
| - estado de degradação: alto (A); baixo (B) | |
| - manchas de humidade (S/N) | |
| - valor estético das áreas afetadas (A-alto; M-médio; B-baixo) | |
| NÍVEL DE GRAVIDADE / URGÊNCIA DE REPARAÇÃO: | |
| 0 - quando a degradação for elevada ou forem detetadas manchas de humidade | |
| 1 - quando o fenómeno está em evolução e pode vir a afetar a estanqueidade, em zonas de alto valor estético para o público | |
| 2 - nos restantes casos | |


| FICHA DE ANOMALIA A-G6 | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Perfuração | |
| DESCRIÇÃO: | |
| <p>Caracteriza-se por orifícios por ações perfurantes, tanto em zona corrente como em pontos singulares.</p> | |
| CAUSAS PROVÁVEIS: | |
| - dificuldade / impossibilidade de acesso aos paramentos (CP-10) | |
| - deficiente fixação mecânica à estrutura (CE-10) | |
| - ataque das raízes da vegetação (CA-5) | |
| - vandalismo (CU-5) | |
| - alteração do tipo de utilização da cobertura (CU-4) | |
| - cargas pontuais de natureza dinâmica (curta duração) (CM-1) | |
| - cargas pontuais de natureza estática (permanentes) (CM-2) | |
| CONSEQUÊNCIAS POSSÍVEIS: | |
| - infiltrações | |
| - degradação do sistema de impermeabilização e restantes camadas | |
| ASPECTOS A INSPECIONAR: | |
| - perfuração generalizada (G) ou localizada (L) | |
| - percentagem de área total danificada: (...) % | |
| - atuação de cargas pontuais sobre o revestimento de impermeabilização após a sua aplicação (S/N) | |
| - objetos cortantes ou pontiagudos assentes diretamente sobre a impermeabilização (S/N) | |
| - suporte constituído por painéis de isolamento térmico compressíveis fixos mecanicamente (S/N) | |
| ENSAIOS A REALIZAR: | |
| - inspeção visual (D-A1) | |
| - deteção de zonas com humidade por termografia por infravermelhos (D-C1) | |
| PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO: | |
| - infiltrações significativas de água no teto e/ou paredes do último piso (S/N) | |
| - manchas no teto e/ou paredes do último piso e/ou outros efeitos secundários (S/N) | |
| - valor estético das áreas afetadas (A-alto; B-baixo) | |
| NÍVEL DE GRAVIDADE / URGÊNCIA DE REPARAÇÃO: | |
| 0 - se houver infiltrações significativas de água no teto e/ou paredes do último piso | |
| 1 - se forem detetadas apenas manchas no teto e/ou paredes do último piso e/ou outros efeitos secundários; zonas de alto valor estético para o público | |
| 2 - nos restantes casos | |


| FICHA DE ANOMALIA A-G7 | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Ausência / posicionamento inadequado de camada | |
| DESCRIÇÃO: | |
| <p>Traduz-se na ausência de camada afeto ao sistema da cobertura escolhido ou no seu posicionamento incorreto.</p> | |
| CAUSAS PROVÁVEIS: | |
| - conceção / pormenorização deficiente das camadas a aplicar (CP-1) | |
| - falta de qualidade na mão de obra (CE-1) | |
| CONSEQUÊNCIAS POSSÍVEIS: | |
| - fissuração da membrana de impermeabilização | |
| - fratura da membrana de impermeabilização | |
| - infiltrações | |
| - manchas de humidade | |
| ASPETOS A INSPECIONAR: | |
| - correto posicionamento e presença de todas as camadas previstas para o tipo de sistema de cobertura adotado | |
| ENSAIOS A REALIZAR: | |
| - inspeção visual (D-A1) | |
| - termografia de infravermelhos (D-C1) | |
| - técnicas intrusivas | |
| PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO: | |
| - ausência da camada de impermeabilização (S/N) | |
| NÍVEL DE GRAVIDADE / URGÊNCIA DE REPARAÇÃO: | |
| 0 - quando se registar a ausência da camada de impermeabilização | |
| 1 - restantes casos | |

| FICHA DE ANOMALIA A-G8 | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Acumulação de detritos | |
| DESCRIÇÃO: | |
| <p>Traduz-se na acumulação de vegetação, restos de animais e outros objetos obstruindo o escoamento das águas pluviais, seja em zona corrente ou em pontos singulares.</p> | |
| CAUSAS PROVÁVEIS: | |
| - conceção / pormenorização deficiente de tubos de queda ou sua deficiente execução (CP-4, CE-7) | |
| - conceção / pormenorização deficiente de caleiras ou sua deficiente execução (CP-5, CE-8) | |
| - conceção / pormenorização deficiente da pendente ou sua deficiente execução (CP-7, CE-12) | |
| - dificuldade / impossibilidade de acesso aos paramentos (CP-10) | |
| - ação do vento (CA-1) | |
| - presença prolongada de água / chuva (CA-4) | |
| - vegetação (CA-5) | |
| - falta de limpeza de detritos na zona corrente (CU-1) | |
| - acumulação / obstrução de detritos nas embocaduras dos tubos de queda ou caleiras (CU-2) | |
| - ausência / inadequada inspeção (CU-3) | |
| - alteração do tipo de utilização da cobertura (CU-4) | |
| - vandalismo (CU-5) | |
| CONSEQUÊNCIAS POSSÍVEIS: | |
| - escoamento deficiente das águas pluviais | |
| - zonas de acumulação e infiltração de água | |
| - aparecimento de colonização biológica | |
| - efeito estético afetado | |
| ASPECTOS A INSPECIONAR: | |
| - inclinação da cobertura | |
| - limpeza periódica da cobertura (S/N) | |
| - acumulação de água (S/N) | |
| - obstrução dos tubos de queda (S/N) ou caleiras (S/N) | |
| - área afetada: (...) % | |
| ENSAIOS A REALIZAR: | |
| - inspeção visual (D-A1) | |
| - medição da inclinação (D-A2) | |
| PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO: | |
| - condições para que o fenómeno progrida (S/N) | |
| - zonas de acumulação e infiltração de água (S/N) | |
| - valor estético das áreas afetadas (A-alto; B-baixo) | |
| NÍVEL DE GRAVIDADE / URGÊNCIA DE REPARAÇÃO: | |
| 1 - quando houver condições para a progressão do fenómeno ou quando existir acumulação de água ou quando o valor estético das áreas afetadas for alto | |
| 2 - nos restantes casos | |


| FICHA DE ANOMALIA A-G9 | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Deficiências de inclinação / empoçamento | |
| DESCRIÇÃO: | |
| <p>Consiste em pendentes que não respeitam os valores mínimos ou máximos estabelecidos.</p> | |
| CAUSAS PROVÁVEIS: | |
| - conceção / pormenorização deficiente de caleiras ou sua deficiente execução (CP-5, CE-8) | |
| - conceção / pormenorização deficiente da pendente ou sua deficiente execução (CP-7, CE-12) | |
| - falta de qualidade da mão-de-obra (CE-1) | |
| - acumulação / obstrução de detritos nas embocaduras dos tubos de queda ou caleiras (CU-2) | |
| - ausência / inadequada inspeção (CU-3) | |
| CONSEQUÊNCIAS POSSÍVEIS: | |
| - zonas de acumulação de detritos | |
| - zonas de acumulação e infiltração de água | |
| - desenvolvimento prematuro de vegetação parasitária / colonização biológica | |
| - a deterioração camada superficial do sistema de cobertura e da membrana de impermeabilização | |
| - infiltrações | |
| ASPETOS A INSPECIONAR: | |
| - acumulação de detritos e água (S/N) | |
| - infiltrações (S/N) | |
| - inclinação da cobertura | |
| - obstrução dos tubos de queda ou caleiras (S/N) | |
| ENSAIOS A REALIZAR: | |
| - inspeção visual (D-A1) | |
| - medição da inclinação (D-A2) | |
| PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO: | |
| - acumulação de detritos e água (S/N) | |
| NÍVEL DE GRAVIDADE / URGÊNCIA DE REPARAÇÃO: | |
| 1 - quando existir acumulação de detritos promovido pela permanência de água | |
| 2 - restantes casos | |

| FICHA DE ANOMALIA A-G10 | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Colonização biológica | |
| DESCRIÇÃO: | |
| <p>Traduz-se na acumulação de microrganismos e plantas de maior (vegetação parasitária) porte que se desenvolvem na presença de humidade, tendo a radiação solar como fonte de energia.</p> | |
| CAUSAS PROVÁVEIS: | |
| - dificuldade / ausência de acesso aos paramentos (CP-10) | |
| - radiação ultravioleta/solar (CA-2) | |
| - humidade (CA-3) | |
| - presença prolongada de água / chuva (CA-4) | |
| - vegetação (CA-5) | |
| - falta de limpeza de detritos em zona corrente (CU-1) | |
| - acumulação / obstrução de detritos nas embocaduras dos tubos de queda ou caleiras (CU-2) | |
| - ausência / inadequada inspeção (CU-3) | |
| CONSEQUÊNCIAS POSSÍVEIS: | |
| - fratura/rotura da membrana de impermeabilização por ataque das raízes | |
| - retenção de água nos poros dos materiais, tornando-os mais vulneráveis aos ciclos gelo-degelo | |
| - fenómenos de corrosão nos revestimentos e nas peças de fixação | |
| - efeito estético afetado | |
| - manifestação de manchas de humidade no interior do piso | |
| ASPECTOS A INSPECIONAR: | |
| - inclinação da cobertura | |
| - limpeza periódica da cobertura (S/N) | |
| - acumulação de água (S/N) | |
| - sistema de drenagem | |
| - área afetada: (...) % | |
| ENSAIOS A REALIZAR: | |
| - inspeção visual (D-A1) | |
| - medição da inclinação (D-A2) | |
| PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO: | |
| - valor estético das áreas afetadas (A-alto; B-baixo) | |
| - o fenómeno pode no curto / médio prazo vir a afetar o estado do revestimento de impermeabilização (S/N) | |
| NÍVEL DE GRAVIDADE / URGÊNCIA DE REPARAÇÃO: | |
| 1 - quando o fenómeno pode no curto / médio prazo vir a afetar o estado do revestimento de impermeabilização ou quando o valor estético das áreas afetadas é alto | |
| 2 - nos restantes casos | |


| FICHA DE ANOMALIA A-G11 | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Corrosão | |
| DESCRIÇÃO: | |
| <p>Constitui o principal processo de degradação dos materiais metálicos e manifesta-se principalmente através de alterações de cor ou destacamentos.</p> | |
| CAUSAS PROVÁVEIS: | |
| - escolha inadequada dos materiais (CP-11) | |
| - humidade (CA-3) | |
| - presença prolongada de água / chuva (CA-4) | |
| - ausência / inadequada inspeção (CU-3) | |
| CONSEQUÊNCIAS POSSÍVEIS: | |
| - deterioração dos materiais | |
| - deterioração dos elementos subjacentes da cobertura | |
| - aspeto estético afetado | |
| ASPETOS A INSPECIONAR: | |
| - compatibilidade entre os materiais em contacto com o metal (fixação mecânica) | |
| - meio ambiente agressivo (S/N) | |
| - materiais corrosivos (S/N) | |
| - área afetada: (...) % | |
| ENSAIOS A REALIZAR: | |
| - inspeção visual (D-A1) | |
| PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO: | |
| - condições para que o fenómeno progrida (S/N) | |
| - o fenómeno pode no curto / médio prazo vir a afetar o estado do revestimento de impermeabilização (S/N) | |
| NÍVEL DE GRAVIDADE / URGÊNCIA DE REPARAÇÃO: | |
| 1 - quando houver condições para a progressão do fenómeno ou o fenómeno pode no curto / médio prazo vir a afetar o estado do revestimento de impermeabilização | |
| 2 - nos restantes casos | |


| FICHA DE ANOMALIA A-G12 | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Manchas de humidade de condensação / infiltração | |
| DESCRIÇÃO: | |
| <p>Consiste no aparecimento de manchas, no interior no paramento interior do piso ou no exterior, resultantes de condensações ou infiltrações.</p> | |
| CAUSAS PROVÁVEIS: | |
| - conceção / pormenorização deficiente das camadas a aplicar (CP-1) | |
| - conceção / pormenorização deficiente das juntas de sobreposição (CP-6) | |
| - conceção / pormenorização deficiente de remates e elementos de proteção associados ou a sua deficiente execução (CP-8, CE-4) | |
| - aplicação em tempo húmido / chuvoso (condições climatéricas desfavoráveis) (CE-2) | |
| - humidade (CA-3) | |
| - presença prolongada de água/chuva (CA-4) | |
| - envelhecimento natural (CA-6) | |
| - vandalismo (CU-5) | |
| - cargas pontuais de natureza dinâmica (curta duração) (CU-1) | |
| - cargas pontuais de natureza estática (permanentes) (CU-2) | |
| CONSEQUÊNCIAS POSSÍVEIS: | |
| - degradação dos materiais afetados | |
| - colonização biológica | |
| ASPECTOS A INSPECIONAR: | |
| - origem das manchas: infiltração (I); condensação (C) | |
| - integridade da membrana de impermeabilização | |
| - integridade do isolamento térmico | |
| - existência de todas as camadas recomendadas para a constituição do sistema de cobertura | |
| - acumulação de água (S/N) | |
| - existência de manchas/infiltrações/humidade (S/N) | |
| ENSAIOS A REALIZAR: | |
| - inspeção visual (D-A1) | |
| - deteção elétrica de infiltração (D-B1) | |
| - teste da capacidade elétrica ou capacitância (D-B2) | |
| - termografia de infravermelhos (D-C1) | |
| - método nuclear (D-D1) | |
| - ensaio de estanqueidade (D-E1) | |
| PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO: | |
| - condições para que o fenómeno progrida (S/N) | |
| - origem das manchas: infiltração (I); condensação (C) | |
| - valor estético das áreas afetadas (A-alto; B-baixo) | |
| NÍVEL DE GRAVIDADE / URGÊNCIA DE REPARAÇÃO: | |
| 0 - quando houver ocorrência de infiltrações ou existe condições para que o fenómeno progrida ou as zonas afetadas são de alto valor estético | |
| 1 - quando houver ocorrência de manchas de humidade | |
| 2 - nos restantes casos | |


| FICHA DE ANOMALIA A-S1 | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Conceção inadequada de juntas de dilatação | |
| DESCRIÇÃO: | |
| Traduz-se na ausência de juntas de dilatação ou na sua deficiente conceção, quando necessárias. | |
| CAUSAS PROVÁVEIS: | |
| - conceção / pormenorização deficiente das juntas de dilatação ou sua deficiente execução (CP-2, CE-5) | |
| - falta de qualidade na mão-de-obra (CE-1) | |
| - deficiente colocação da membrana de impermeabilização (CE-11) | |
| CONSEQUÊNCIAS POSSÍVEIS: | |
| - infiltrações | |
| - fratura da membrana de impermeabilização | |
| - fissuração da membrana de impermeabilização | |
| - formação de pregas | |
| ASPECTOS A INSPECIONAR: | |
| - existência de junta de dilatação | |
| - correta execução da junta de dilatação (S/N) | |
| - cobertura visitável, junta sobreelevada (S/N) | |
| - cobertura não visitável, junta sobreelevada (S/N) | |
| ENSAIOS A REALIZAR: | |
| - inspeção visual (D-A1) | |
| PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO: | |
| - estado de degradação da junta de dilatação: alto (A); baixo (B) | |
| - infiltrações (S/N) | |
| NÍVEL DE GRAVIDADE / URGÊNCIA DE REPARAÇÃO: | |
| 0 - quando se verificar a perda de estanqueidade na junta de dilatação ou apresente elevada degradação | |
| 2 - nos restantes casos | |

| FICHA DE ANOMALIA A-S2 | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Conceção inadequada de tubos de queda | |
| DESCRIÇÃO: | |
| <p>Caracteriza-se pela inexistência de tubos de queda ou ralos nas embocaduras, ou pela má conceção dos tubos de queda (localização, execução).</p> | |
| CAUSAS PROVÁVEIS: | |
| - conceção / pormenorização deficiente dos tubos de queda ou sua deficiente execução (CP-4, CE-7) | |
| - falta de qualidade na mão-de-obra (CE-1) | |
| - vandalismo (CU-5) | |
| CONSEQUÊNCIAS POSSÍVEIS: | |
| - zonas de acumulação de água | |
| - entupimento dos tubos de queda | |
| - dificuldade no escoamento de águas pluviais | |
| ASPETOS A INSPECIONAR: | |
| - existência de ralos nas embocaduras (S/N) | |
| - existência de tubos de queda (S/N) | |
| - acumulação de detritos (S/N) | |
| - localização adequada dos tubos de queda (S/N) | |
| ENSAIOS A REALIZAR: | |
| - inspeção visual (D-A1) | |
| PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO: | |
| - existência de ralos nas embocaduras (S/N) | |
| - acumulação de detritos ou entupimento (S/N) | |
| NÍVEL DE GRAVIDADE / URGÊNCIA DE REPARAÇÃO: | |
| 0 – quando de verificar acumulação de detritos ou entupimentos ou a ausência de ralos | |
| 2 - nos restantes casos | |

| FICHA DE ANOMALIA A-S3 | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Conceção inadequada de tubos ladrão | |
| DESCRIÇÃO: | |
| <p>Caracteriza-se pela ausência ou conceção inadequada de tubos ladrão.</p> | |
| CAUSAS PROVÁVEIS: | |
| - conceção/pormenorização deficiente dos tubos ladrão ou sua deficiente execução (CP-9, CE-9) | |
| - falta de qualidade na mão-de-obra (CE-1) | |
| CONSEQUÊNCIAS POSSÍVEIS: | |
| - zonas de acumulação de água | |
| - dificuldade no escoamento de águas pluviais | |
| ASPETOS A INSPECIONAR: | |
| - existência de tubo ladrão (S/N) | |
| - localização adequada (S/N) | |
| ENSAIOS A REALIZAR: | |
| - inspeção visual (D-A1) | |
| PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO: | |
| - conceção / execução adequada (S/N) | |
| NÍVEL DE GRAVIDADE / URGÊNCIA DE REPARAÇÃO: | |
| 2 – quando a conceção / execução não for adequada | |

| FICHA DE ANOMALIA A-S4 | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Conceção inadequada de caleiras | |
| DESCRIÇÃO: | |
| <p>Caracteriza-se pela ausência ou má conceção das caleiras / execução.</p> | |
| CAUSAS PROVÁVEIS: | |
| - conceção / pormenorização deficiente de caleiras ou sua deficiente execução (CP-5, CE-8) | |
| - conceção / pormenorização deficiente da pendente ou sua deficiente execução (CP-7, CE-12) | |
| - falta de qualidade na mão-de-obra (CE-1) | |
| CONSEQUÊNCIAS POSSÍVEIS: | |
| - zonas de acumulação de água | |
| - dificuldade no escoamento de águas pluviais | |
| ASPECTOS A INSPECIONAR: | |
| - existência de caleiras (S/N) | |
| - localização das caleiras | |
| ENSAIOS A REALIZAR: | |
| - inspeção visual (D-A1) | |
| - medição da inclinação (DA-2) | |
| PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO: | |
| - inclinação ou posicionamento adequado (S/N) | |
| - obstrução da caleira (S/N) | |
| NÍVEL DE GRAVIDADE / URGÊNCIA DE REPARAÇÃO: | |
| 0 - quando a caleira se encontrar obstruída | |
| 1 - quando se registar a incorreta colocação da membrana de impermeabilização ou insuficiente inclinação | |
| 2 - nos restantes casos | |

| FICHA DE ANOMALIA A-S5 | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Conceção inadequada de juntas de sobreposição | |
| DESCRIÇÃO: | |
| Traduz-se na ausência de juntas de sobreposição ou na sua deficiente conceção / execução. | |
| CAUSAS PROVÁVEIS: | |
| - conceção / pormenorização deficiente das juntas de sobreposição ou a sua deficiente execução (CP-6, CE-6) | |
| - falta de qualidade da mão de obra (CE-1) | |
| - deficiente colocação da membrana de impermeabilização (CE-11) | |
| CONSEQUÊNCIAS POSSÍVEIS: | |
| - descolamento / arrancamento da membrana de impermeabilização | |
| - infiltrações | |
| ASPETOS A INSPECIONAR: | |
| - largura de sobreposição suficiente (S/N) | |
| - existência de juntas de sobreposição (S/N) | |
| ENSAIOS A REALIZAR: | |
| - inspeção visual (D-A1) | |
| PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO: | |
| - infiltrações ou manchas de humidade (S/N) | |
| NÍVEL DE GRAVIDADE / URGÊNCIA DE REPARAÇÃO: | |
| 0 - quando ocorrerem infiltrações ou aparecerem manchas de humidade | |
| 2 - restantes casos | |

| FICHA DE ANOMALIA A-S6 | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Fixações deficientes | |
| DESCRIÇÃO: | |
| <p>Caracteriza-se pela ausência de fixações ou pela sua deficiente conceção / execução.</p> | |
| CAUSAS PROVÁVEIS: | |
| <ul style="list-style-type: none"> - conceção / pormenorização deficiente de remates e elementos de proteção associados ou a sua deficiente execução (CP-8, CE-4) - falta de qualidade da mão de obra (CE-1) - deficiente fixação mecânica à estrutura (CE-10) | |
| CONSEQUÊNCIAS POSSÍVEIS: | |
| <ul style="list-style-type: none"> - descolamento / arrancamento das camadas do sistema de cobertura - perfuração da membrana de impermeabilização - fratura/rotura da membrana de impermeabilização | |
| ASPECTOS A INSPECIONAR: | |
| <ul style="list-style-type: none"> - existência de fixações adequadas (S/N) | |
| ENSAIOS A REALIZAR: | |
| <ul style="list-style-type: none"> - inspeção visual (D-A1) | |
| PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO: | |
| <ul style="list-style-type: none"> - existência de fixações adequadas (S/N) | |
| NÍVEL DE GRAVIDADE / URGÊNCIA DE REPARAÇÃO: | |
| <ul style="list-style-type: none"> 1 - quando não existirem fixações 2 - restantes casos | |

| FICHA DE ANOMALIA A-S7 | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Capeamento deficiente | |
| DESCRIÇÃO: | |
| <p>Traduz-se na ausência de capeamento ou na sua incorreta conceção / execução.</p> | |
| CAUSAS PROVÁVEIS: | |
| - conceção / pormenorização deficiente dos elementos emergentes (CP-3) | |
| - conceção / pormenorização deficiente da pendente ou sua execução deficiente (CP-7, CE-12) | |
| - conceção / pormenorização deficiente de remates e elementos de proteção associados ou sua deficiente execução (CP-8, CE-4) | |
| - falta de qualidade na mão de obra (CE-1) | |
| CONSEQUÊNCIAS POSSÍVEIS: | |
| - infiltrações de água | |
| - acumulação de água, por períodos longos, na superfície horizontal do coroamento | |
| ASPECTOS A INSPECIONAR: | |
| - pendente do capeamento: ()% | |
| - coroamento com capeamento metálico: | |
| rotura das peças de fixação do capeamento (S/N) | |
| inexistência de anilhas vedantes ou sistema semelhante para vedação dos orifícios das fixações do capeamento (S/N) | |
| corrosão das peças de capeamento (S/N) | |
| rotura de soldaduras de juntas entre peças de capeamento (S/N) | |
| - coroamento com capeamento de pedra ou betão: | |
| rotura de peças de capeamento (S/N) | |
| fissuras na argamassa de preenchimento das juntas entre peças (S/N) | |
| - capeamento sem abas verticais, sem pingadeira e com o remate a terminar junto à sua base (S/N) | |
| - descolamento do remate da impermeabilização junto ao capeamento (S/N) | |
| - existência de capeamento (S/N) | |
| ENSAIOS A REALIZAR: | |
| - inspeção visual (D-A1) | |
| - medição da inclinação (D-A2) | |
| PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO: | |
| - infiltrações de água no teto / paredes do último piso (S/N) | |
| - apenas manchas no teto / paredes do último piso (S/N) | |
| - existência de capeamento (S/N) | |
| NÍVEL DE GRAVIDADE / URGÊNCIA DE REPARAÇÃO: | |
| 0 - quando se verificar infiltrações de água no teto / paredes do último piso ou não existir capeamento | |
| 1 - quando se verificar apenas manchas no teto / paredes do último piso | |
| 2 - restantes casos | |


| FICHA DE ANOMALIA A-S8 | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Remates deficientes | |
| DESCRIÇÃO: | |
| <p>Traduz-se ausência ou incorreta conceção / execução de remates em pontos singulares.</p> | |
| CAUSAS PROVÁVEIS: | |
| - conceção / pormenorização deficiente dos elementos emergentes (CP-3) | |
| - conceção / pormenorização deficiente de remates e elementos de proteção associados ou sua deficiente execução (CP-8, CE-4) | |
| - falta de qualidade na mão de obra (CE-1) | |
| - deficiente colocação da membrana de impermeabilização (CE-11) | |
| CONSEQUÊNCIAS POSSÍVEIS: | |
| - infiltrações de água | |
| - descolamento dos remates | |
| ASPETOS A INSPECIONAR: | |
| - existência de elementos de proteção dos remates (S/N) | |
| - altura suficiente dos remates (S/N) | |
| ENSAIOS A REALIZAR: | |
| - inspeção visual (D-A1) | |
| - deteção eletrónica de infiltração (D-B1) | |
| - termografia de infravermelhos (D-C1) | |
| - ensaio de estanqueidade (D-E1) | |
| PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO: | |
| - perda de estanqueidade do revestimento ou infiltrações (S/N) | |
| - apenas manchas no teto / paredes do último piso (S/N) | |
| NÍVEL DE GRAVIDADE / URGÊNCIA DE REPARAÇÃO: | |
| 0 - quando ocorrerem infiltrações | |
| 1 - quando se verificar apenas manchas no teto / paredes do último piso | |
| 2 - restantes casos | |


Anexo 4.I


Fichas dos métodos de diagnóstico


| FICHA DE ENSAIO D-A1 | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Inspeção visual | |
| DESTRUTIVO (D) / NÃO DESTRUTIVO (ND): | |
| ND | |
| OBJECTIVOS: | |
| <p>Avaliar o estado de degradação dos elementos que constituem a cobertura e as causas das anomalias por simples observação directa complementada com equipamentos auxiliares simples</p> | |
| EQUIPAMENTO NECESSÁRIO: | |
| Binóculos; máquina fotográfica; fita métrica; escada; equipamento de segurança | |
| DESCRIÇÃO DO MÉTODO: | |
| 1 - colocação do equipamento de segurança pessoal; 2 - deslocação até à cobertura; 3 - avaliação da cobertura através de observação directa auxiliada por outros equipamentos simples | |
| VANTAGENS: | |
| Técnica de realização simples, de baixo custo e não necessita de equipamento especial | |
| LIMITAÇÕES: | |
| Exige um profissional com elevada experiência e conhecimento neste âmbito | |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: | |
| Gonçalves (2004); Córias (2006); Carino e Clifton (1982); Flores-Colen (2008); Garcez (2009) | |

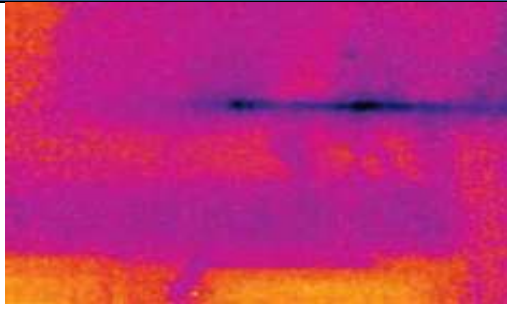
| FICHA DE ENSAIO D-A2 | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Medição da inclinação | |
| DESTRUTIVO (D) / NÃO DESTRUTIVO (ND): | |
| ND | |
| OBJECTIVOS: | |
| <p>Verificar se os valores mínimos de inclinação são respeitados.</p> | |
| EQUIPAMENTO NECESSÁRIO: | |
| Régua de nível digital (inclinómetro) | |
| DESCRIÇÃO DO MÉTODO: | |
| 1 - colocação do equipamento sobre a superfície inclinada do RECI; 2 - leitura directa no equipamento do valor da inclinação | |
| VANTAGENS: | |
| Técnica expedita e simples, não exigindo pessoal qualificado para a execução e interpretação dos resultados das medições | |
| LIMITAÇÕES: | |
| Nada de significativo a assinalar | |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: | |
| Gibson e Hollis (1991) | |


| FICHA DE ENSAIO D-B1 (a) | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| |  |
| DESIGNAÇÃO: | |
| Deteção elétrica de infiltração (ELD) – Método baixa tensão | |
| DESTRUTIVO (D) / NÃO DESTRUTIVO (ND): | |
| ND | |
| OBJECTIVOS: | |
| Deteção de infiltrações | |
| EQUIPAMENTO NECESSÁRIO: | |
| Sondas; gerador elétrico; fio elétrico | |
| DESCRIÇÃO DO MÉTODO: | |
| 1 - estabelecer área de teste delimitando-a com um fio elétrico; 2 - ligar o gerador, simultaneamente, ao circuito estabelecido e a um elemento condutor da cobertura, recorrendo a fios elétricos; 3 - humedecer a membrana | |
| VANTAGENS: | |
| Localização precisa de pontos de infiltração; pode ser usado em pontos singulares; pode utilizar-se em quase todos os tipos de membranas (desde que não sejam condutores elétricos) | |
| LIMITAÇÕES: | |
| Exige experiência na interpretação dos resultados; influenciado por fatores como a condutividade elétrica e permeabilidade magnética; a membrana não pode ser condutora elétrica e deve estar húmida; difícil aplicabilidade quando existe vento | |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: | |
| Thornton (2001); Wilen (2012); Ceja (2013); WITA (2012) | |

| FICHA DE ENSAIO D-B1 (b) | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| |  |
| DESIGNAÇÃO: | |
| Deteção elétrica de infiltração (ELD) – Método alta tensão | |
| DESTRUTIVO (D) / NÃO DESTRUTIVO (ND): | |
| ND | |
| OBJECTIVOS: | |
| Deteção de infiltrações | |
| EQUIPAMENTO NECESSÁRIO: | |
| Eléctrodo; fios elétricos; gerador elétrico | |
| DESCRIÇÃO DO MÉTODO: | |
| 1 - ligar gerador, simultaneamente, ao eléctrodo e à estrutura suporte da cobertura; 2 - percorrer a área da cobertura com o eléctrodo | |
| VANTAGENS: | |
| Baixo impacte ambiental devido ao uso reduzido de água; rápidos resultados e redução dos prazos de entrega da obra; localização precisa das infiltrações; possibilidade de testar as reparações efetuadas, rapidamente; baixo custo; a estrutura é submetida a uma carga reduzida; indica local específico da infiltração. | |
| LIMITAÇÕES: | |
| Não se pode utilizar em produtos que tenham asfalto na sua composição; não deteta defeitos nas juntas de sobreposição ou remates; necessita de estar exposto à água antes de ser utilizado; só funciona com as membranas de impermeabilização à vista; não pode ser utilizado em coberturas invertidas; não é totalmente eficaz quando utilizadas membranas EPDM; resultados obtidos pelo método de alta tensão são menos fidedignos do que os obtidos pelo método de baixa tensão; superfície seca; calibração cuidadosa | |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: | |
| Ceja (2013); Honza (2010); Thornton (2001); WITA (2012) | |

| FICHA DE ENSAIO D-B2 | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Teste da capacidade elétrica ou capacitância | |
| DESTRUTIVO (D) / NÃO DESTRUTIVO (ND): | |
| ND | |
| OBJECTIVOS: | |
| Avaliar a existência de humidade | |
| EQUIPAMENTO NECESSÁRIO: | |
| Aparelho medidor de LCR (medir a capacidade de um objeto de continuar a manter uma carga elétrica) | |
| DESCRIÇÃO DO MÉTODO: | |
| 1 - ligar aparelho; 2 - registar medições para posterior interpretação e diagnóstico | |
| VANTAGENS: | |
| O clima não influencia de forma decisiva os resultados obtidos; fácil manuseamento do equipamento e transporte; baixo custo do equipamento. | |
| LIMITAÇÕES: | |
| Só pode ser utilizado em membranas secas e não condutoras de eletricidade; indica apenas a zona provável de ocorrência de infiltrações e não o local específico; os materiais do sistema de impermeabilização não devem ser diferentes e devem ter espessuras aproximadas; as fixações mecânicas adulteram as medições efetuadas; cada ensaio só tem capacidade para testar uma área reduzida da cobertura; resultados podem ser influenciados por agentes exteriores | |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: | |
| Carino e Clifton (1982); Tobiasson e Korhonen (1985); Roberts (2006); Capolino (2004) | |

| FICHA DE ENSAIO D-C1 | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Termografia de infravermelhos | |
| DESTRUTIVO (D) / NÃO DESTRUTIVO (ND): | |
| ND | |
| OBJECTIVOS: | |
| Avaliar a existência de humidade | |
| EQUIPAMENTO NECESSÁRIO: | |
| Câmara termográfica sensível à radiação infravermelha; pares termoelétricos para controlo das temperaturas e equipamento de gravação em cassete vídeo e em disquete, para gravação dos termogramas obtidos | |
| DESCRIÇÃO DO MÉTODO: | |
| 1 - aproveitando o aquecimento provocado pela radiação solar, observar as imagens termográficas obtidas através da câmara de infravermelhos; 2 - registar em disquetes ou aparelhagem videográfica as imagens recolhidas, para posterior interpretação e diagnóstico | |
| VANTAGENS: | |
| Técnica eficaz e económica, permitindo a inspeção sem existir contacto com os elementos a diagnosticar; técnica de teste de áreas em vez de pontos; permite apresentar uma imagem da superfície analisada; permite identificar anomalias embrionárias | |
| LIMITAÇÕES: | |
| As observações termográficas efetuadas implicam ensaios posteriores mais localizados; a interpretação dos resultados exige um profissional com experiência e conhecimento na área do comportamento térmico dos materiais; a profundidade e a espessura da anomalia detetada não podem ser determinadas | |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: | |
| Capolino (2004); NASA (2000); Mendonça (2005) | |

| FICHA DE ENSAIO D-D1 | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Método nuclear | |
| DESTRUTIVO (D) / NÃO DESTRUTIVO (ND): | |
| ND | |
| OBJECTIVOS: | |
| Detetar áreas com diferentes teores de humidade | |
| EQUIPAMENTO NECESSÁRIO: | |
| Medidor nuclear | |
| DESCRIÇÃO DO MÉTODO: | |
| 1 - ligar aparelho; 2 - obter medições | |
| VANTAGENS: | |
| Pode ser realizado em qualquer hora do dia e em qualquer tipo de cobertura; rápido e fácil de utilizar | |
| LIMITAÇÕES: | |
| Transporte de materiais radioativos (requer licença); as infiltrações devem ser encontradas de forma visual após a conclusão do teste. | |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: | |
| Capolino (2004); Matt (s.d.) | |

| FICHA DE ENSAIO D-E1 | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| DESIGNAÇÃO: |  |
| Ensaio de estanqueidade | |
| DESTRUTIVO (D) / NÃO DESTRUTIVO (ND): | |
| ND | |
| OBJECTIVOS: | |
| Detetar infiltrações | |
| EQUIPAMENTO NECESSÁRIO: | |
| Mangueira; objetos para selar o sistema de drenagem | |
| DESCRIÇÃO DO MÉTODO: | |
| 1 - selagem do sistema de drenagem durante 24h - 72h; 2 - encher a cobertura com uma lâmina de água; 3 - inspecionar o piso interior da cobertura | |
| VANTAGENS: | |
| Método eficaz | |
| LIMITAÇÕES: | |
| Demora no enchimento e na drenagem da cobertura; capacidade resistente da cobertura; para uma maior inclinação é necessário maior quantidade de água; caso haja infiltração os danos no sistema da cobertura são irreversíveis | |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: | |
| Schwetz (2014); Capolino (2004); ASTM (1998); CRCA (2007) | |

Anexo 5.I

Ficha de inspeção

| FICHA DE INSPEÇÃO N.º | | DATA DA INSPEÇÃO | | | |
|----------------------------------------------|------------------------|------------------|--------------------|--|------------------|
| RESPONSÁVEL | | | | | |
| OBJETIVO DA INSPEÇÃO | | | | | |
| I - EDIFÍCIO | | | | | |
| I.1 - Localização | | | | | |
| I.2 - Tipo de utilização | Habitação | | Comércio | | Serviços |
| I.3 - Intervenções posteriores | Sim | | Não | | Outro |
| I.4 - N.º de pisos acima do solo | | | | | |
| I.5 - Tipo de envolvente | Rural | | Urbana | | Marítima |
| I.6 - Proximidade do mar | < 1 km | | < 5 km | | > 5 km |
| I.7 - Notas | | | | | |
| II. - COBERTURA | | | | | |
| II.1 - Acesso ao interior | Sim | | Não | | |
| II.2 - Área total (m²) | | | | | |
| II.3 - Pendente (%) | | | | | |
| II.4 - Tipo de cobertura | Sem isolamento térmico | | Tradicional | | N.S. |
| | | | Invertida | | |
| II.5 - Tipo de utilização | Acessível | | Não acessível | | |
| II.6 - Tipo de proteção | Pesada | | Leve | | Não existe |
| II.7 - Tipo impermeabilização | Betuminoso | | PVC | | Membrana líquida |
| II.8 - Material isolamento térmico | Mineral | | Sintético | | Não existe |
| II.9 - Existência de fixação mecânica | Capeamento | | Isolamento térmico | | Não existe |
| | Remates | | | | N.S. |
| II.10 - Existência de caminhos de circulação | Sim | | Não | | |
| II.11 - Singularidades da cobertura | Platibandas | | Caleiras | | Soleira |
| | Chaminés | | Tubos ladrão | | Juntas dilatação |
| | Clarabóia | | Tubos de queda | | Equipamentos |
| | Elementos emergentes | | Guarda corpos | | Áreas técnicas |
| II.12 - Notas | | | | | |
| II.13 - Notas sobre a manutenção | | | | | |

Anexo 5.II

Ficha de validação

| FICHA DE VALIDAÇÃO N.º | | DATA DA INSPEÇÃO | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|------------------|------------------|
| CÓDIGO | Ed | | |
| I - ANOMALIAS DETETADAS | | | |
| A-G1- Desgaste superficial | | | |
| A-G2- Fratura / rotura | | | |
| A-G3- Descolamento / arrancamento | | | |
| A-G4- Formação de pregas / empolamento | | | |
| A-G5- Fissuração | | | |
| A-G6- Perfuração | | | |
| A-G7- Ausência / posicionamento inadequado de camada | | | |
| A-G8- Acumulação de detritos | | | |
| A-G9- Deficiências de inclinação / empoçamento | | | |
| A-G10- Colonização biológica | | | |
| A-G11- Corrosão | | | |
| A-G12- Manchas de humidade de condensação / infiltração | | | |
| A-S1- Conceção inadequada de juntas de dilatação | | | |
| A-S2- Conceção inadequada de tubos de queda | | | |
| A-S3- Conceção inadequada de tubos ladrão | | | |
| A-S4- Conceção inadequada de caleiras | | | |
| A-S5- Conceção inadequada de juntas de sobreposição | | | |
| A-S6- Fixações deficientes | | | |
| A-S7- Capeamento deficiente | | | |
| A-S8- Remates deficientes | | | |
| NOTAS | | | |
| | | | |
| II - CARACTERIZAÇÃO DAS ANOMALIAS | | | ANOMALIAS |
| <i>(Preencher apenas as aplicáveis à anomalia)</i> | | | |
| Condições para que o fenómeno progrida (S/N) | | | |
| Percentagem de área afetada: (...) % | | | |
| Valor estético das áreas afetadas (A-alto; M-médio; B-baixo) | | | |
| Estado de degradação: alto (A); médio (M); baixo (B) | | | |
| Manchas de humidade (S/N) | | | |
| Ocorrência de infiltrações (S/N) | | | |
| O fenómeno pode no curto / médio prazo vir a afetar o estado do revestimento de impermeabilização (S/N) | | | |
| Materiais adequados (S/N) | | | |
| Recobrimentos adequados nos remates (S/N) | | | |
| Existência (S/N) | | | |
| Cobertura visitável, junta sobreelevada (S/N) | | | |
| Cobertura não visitável, junta sobreelevada (S/N) | | | |
| Largura de sobreposição suficiente (S/N) | | | |
| Existência de ralos nas embocaduras (S/N) | | | |
| Coreto posicionamento (S/N) | | | |
| Inclinação insuficiente (S/N) | | | |
| Altura de remate adequada (S/N) | | | |
| Nível de gravidade (0; 1; 2) | | | |
| NOTAS | | | |
| | | | |
| | | | |

| III - CAUSAS PROVÁVEIS (2 - causa direta / 1 - causa indireta) | ANOMALIAS | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--|--|--|
| C-P - ERROS DE PROJETO / CONCEÇÃO | | | | |
| C-P1 conceção / pormenorização deficiente das camadas a aplicar | | | | |
| C-P2 conceção / pormenorização deficiente das juntas de dilatação | | | | |
| C-P3 conceção / pormenorização deficiente da superfície / elementos emergentes | | | | |
| C-P4 conceção / pormenorização deficiente de tubos de queda | | | | |
| C-P5 conceção / pormenorização deficiente de caleiras | | | | |
| C-P6 conceção / pormenorização deficiente juntas sobreposição | | | | |
| C-P7 conceção / pormenorização deficiente da pendente | | | | |
| C-P8 conceção / pormenorização deficiente de remates e elementos de proteção associados | | | | |
| C-P9 conceção / pormenorização deficiente de tubos ladrão | | | | |
| C-P10 dificuldade / impossibilidade de acesso aos paramentos | | | | |
| C-P11 escolha inadequada dos materiais | | | | |
| C-E - ERROS DE EXECUÇÃO | | | | |
| C-E1 falta de qualidade na mão-de-obra | | | | |
| C-E2 aplicação em tempo húmido / chuvoso (condições térmicas desfavoráveis) | | | | |
| C-E3 deficiente armazenamento / transporte de materiais | | | | |
| C-E4 deficiente execução de remates e elementos de proteção associados | | | | |
| C-E5 deficiente execução da junta de dilatação | | | | |
| C-E6 deficiente execução da junta de sobreposição | | | | |
| C-E7 deficiente execução dos tubos de quedas | | | | |
| C-E8 deficiente execução de caleiras | | | | |
| C-E9 deficiente execução dos tubos ladrão | | | | |
| C-E10 deficiente fixação mecânica | | | | |
| C-E11 deficiente colocação da membrana de impermeabilização | | | | |
| C-E12 pendente deficiente | | | | |
| C-A - AÇÕES AMBIENTAIS | | | | |
| C-A1 vento | | | | |
| C-A2 radiação ultravioleta / solar | | | | |
| C-A3 humidade | | | | |
| C-A4 presença prolongada de água / chuva | | | | |
| C-A5 vegetação | | | | |
| C-A6 envelhecimento natural | | | | |
| C-A7 ciclos de humedificação-secagem | | | | |
| C-U - ERROS DE UTILIZAÇÃO / MANUTENÇÃO | | | | |
| C-U1 falta de limpeza de detritos na zona corrente | | | | |
| C-U2 acumulação / obstrução de detritos nas embocaduras dos tubos de queda ou caleiras | | | | |
| C-U3 ausência / inadequada inspeção | | | | |
| C-U4 alteração do tipo de utilização da cobertura | | | | |
| C-U5 vandalismo | | | | |
| C-M - ACÇÕES DE ORIGEM MECÂNICA EXTERIOR | | | | |
| C-M1 cargas pontuais de natureza dinâmica (curta duração) | | | | |
| C-M2 cargas pontuais de natureza estática (permanentes) | | | | |

| III - MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO | ANOMALIAS | | | | |
|---------------------------------------------------|-----------|--|--|--|--|
| | | | | | |
| D-A - ANÁLISE VISUAL | | | | | |
| D-A1 inspeção visual | | | | | |
| D-A2 medição da inclinação | | | | | |
| D-B - MÉTODOS ELÉTRICOS | | | | | |
| D-B1 deteção elétrica de infiltração | | | | | |
| D-B2 teste da capacidade elétrica ou capacitância | | | | | |
| D-C - MÉTODOS TERMO-HIGROMÉTRICOS | | | | | |
| D-C1 termografia de infravermelhos | | | | | |
| D-D - MÉTODOS NUCLEARES | | | | | |
| D-D1 método nuclear | | | | | |
| D-D - ENSAIOS DE CARGA | | | | | |
| D-E1 ensaio de estanqueidade | | | | | |
| NOTAS | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

| III - MANUTENÇÃO | |
|-----------------------------------------------------------|--|
| III.1 - Tipologia implementada | |
| III.2 - Periodicidade das inspeções e/ou das intervenções | |
| III.3 - Características das intervenções efetuadas | |
| Data Técnica utilizada Materiais aplicados | |
| Data Técnica utilizada Materiais aplicados | |
| Data Técnica utilizada Materiais aplicados | |
| III.4 - Meios de acesso para vistoria / intervenção | |

Anexo 5.III

Ficha de inspeção - Ed.71

| | | | | | | |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|---|------------------|---|
| FICHA DE INSPEÇÃO N.º | 71 | DATA DA INSPEÇÃO | 11/05/2015 | | | |
| RESPONSÁVEL | João Conceição | | | | | |
| OBJETIVO DA INSPEÇÃO | Identificar anomalias, causas prováveis e técnicas de diagnóstico passíveis de serem utilizadas | | | | | |
| I - EDIFÍCIO | | | | | | |
| | Torre Norte | | | | | |
| I.1 - Localização | Instituto Superior Técnico | | | | | |
| I.2 - Tipo de utilização | Habitação | | Comércio | | Serviços | X |
| I.3 - Intervenções posteriores | Sim | X | Não | | | |
| I.4 - N.º de pisos acima do solo | 12 | | | | | |
| I.5 - Tipo de envolvente | Rural | | Urbana | X | Marítima | |
| I.6 - Proximidade do mar | < 1 km | | < 5 km | | > 5 km | X |
| I.7 - Notas | | | | | | |
| II. - COBERTURA | | | | | | |
| II.1 - Acesso ao interior | Sim | | Não | | X | |
| II.2 - Área total (m²) | 784 m² | | | | | |
| II.3 - Pendente (%) | 1,5% | | | | | |
| II.4 - Tipo de cobertura | Sem isolamento térmico | | Tradicional | X | N.S | |
| | | | Invertida | | | |
| II.5 - Tipo de utilização | Acessível | | Não acessível | X | | |
| II.6 - Tipo de proteção | Pesada | | Leve | | Não existe | X |
| II.7 - Tipo impermeabilização | Betuminoso | | PVC | | Membrana líquida | X |
| II.8 - Material isolamento térmico | Mineral | | Sintético | | Não existe | X |
| II.9 - Existência de fixação mecânica | Capeamento | X | Isolamento térmico | | Não existe | |
| | Remates | | | | N.S. | |
| II.10 - Existência de caminhos de circulação | Sim | | Não | X | | |
| II.11 - Singularidades da cobertura | Platibandas | X | Caleiras | X | Soleira | X |
| | Chaminés | | Tubos ladrão | | Juntas dilatação | X |
| | Clarabóia | | Tubos de queda | | Equipamentos | X |
| | Elementos emergentes | X | Guarda corpos | X | Áreas técnicas | X |
| II.12 - Notas | | | | | | |
| II.13 - Notas sobre a manutenção | | | | | | |

Anexo 5.IV

Ficha de validação - Ed.71

| | | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------------|-------------------|--|--|--|---|------------------|
| FICHA DE VALIDAÇÃO N.º | 71 | DATA DA INSPEÇÃO | 11/05/2015 | | | | | |
| CÓDIGO | Ed 71 | | | | | | | |
| I - ANOMALIAS DETETADAS | | | | | | | | |
| A-G1- Desgaste superficial | | | | | | | | |
| A-G2- Fratura / rotura | | | | | | | X | |
| A-G3- Descolamento / arrancamento | | | | | | | | |
| A-G4- Formação de pregas / empolamento | | | | | | | X | |
| A-G5- Fissuração | | | | | | | | |
| A-G6- Perfuração | | | | | | | | |
| A-G7- Ausência / posicionamento inadequado de camada | | | | | | | | |
| A-G8- Acumulação de detritos | | | | | | | | |
| A-G9- Deficiências de inclinação / empoçamento | | | | | | | | |
| A-G10- Colonização biológica | | | | | | | | |
| A-G11- Corrosão | | | | | | | | |
| A-G12- Manchas de humidade de condensação / infiltração | | | | | | | | |
| A-S1- Conceção inadequada de juntas de dilatação | | | | | | | X | |
| A-S2- Conceção inadequada de tubos de queda | | | | | | | X | |
| A-S3- Conceção inadequada de tubos ladrão | | | | | | | | |
| A-S4- Conceção inadequada de caleiras | | | | | | | X | |
| A-S5- Conceção inadequada de juntas de sobreposição | | | | | | | | |
| A-S6- Fixações deficientes | | | | | | | | |
| A-S7- Capeamento deficiente | | | | | | | | |
| A-S8- Remates deficientes | | | | | | | | |
| NOTAS | | | | | | | | |
| II - CARACTERIZAÇÃO DAS ANOMALIAS | | | | | | | | ANOMALIAS |
| <i>(Preencher apenas as aplicáveis à anomalia)</i> | | | | | | | | G G S S S |
| | | | | | | | | 2 4 1 2 4 |
| Condições para que o fenómeno progrida (S/N) | | | | | | | | S S |
| Percentagem de área afetada: (...) % | | | | | | | | |
| Valor estético das áreas afetadas (A-alto; M-médio; B-baixo) | | | | | | | | B |
| Estado de degradação: alto (A); médio (M); baixo (B) | | | | | | | | B |
| Manchas de humidade (S/N) | | | | | | | | N S |
| Ocorrência de infiltrações (S/N) | | | | | | | | N S |
| O fenómeno pode no curto / médio prazo vir a afetar o estado do revestimento de impermeabilização (S/N) | | | | | | | | |
| Materiais adequados (S/N) | | | | | | | | |
| Recobrimentos adequados nos remates (S/N) | | | | | | | | |
| Existência (S/N) | | | | | | | | N N |
| Cobertura visitável, junta sobreelevada (S/N) | | | | | | | | |
| Cobertura não visitável, junta sobreelevada (S/N) | | | | | | | | |
| Largura de sobreposição suficiente (S/N) | | | | | | | | |
| Existência de ralos nas embocaduras (S/N) | | | | | | | | N |
| Coreto posicionamento (S/N) | | | | | | | | S S |
| Inclinação insuficiente (S/N) | | | | | | | | S |
| Altura de remate adequada (S/N) | | | | | | | | |
| Nível de gravidade (0; 1; 2) | | | | | | | | 2 2 2 2 2 |
| NOTAS | | | | | | | | |

| III - CAUSAS PROVÁVEIS (2 - causa direta / 1 - causa indireta) | ANOMALIAS | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---|---|---|---|--|
| C-P - ERROS DE PROJETO / CONCEÇÃO | G | G | S | S | S | |
| | 2 | 4 | 1 | 2 | 4 | |
| C-P1 conceção / pormenorização deficiente das camadas a aplicar | | | | | | |
| C-P2 conceção / pormenorização deficiente das juntas de dilatação | | | 2 | | | |
| C-P3 conceção / pormenorização deficiente da superfície / elementos emergentes | | | | | 1 | |
| C-P4 conceção / pormenorização deficiente de tubos de queda | | | | | | |
| C-P5 conceção / pormenorização deficiente de caleiras | | | | | 2 | |
| C-P6 conceção / pormenorização deficiente juntas sobreposição | | | | | | |
| C-P7 conceção / pormenorização deficiente da pendente | | | | | 2 | |
| C-P8 conceção / pormenorização deficiente de remates e elementos de proteção associados | | | | | | |
| C-P9 conceção / pormenorização deficiente de tubos ladrão | | | | | | |
| C-P10 dificuldade / impossibilidade de acesso aos paramentos | | | | | | |
| C-P11 escolha inadequada dos materiais | | | | | | |
| C-E - ERROS DE EXECUÇÃO | | | | | | |
| C-E1 falta de qualidade na mão-de-obra | | 2 | 2 | 1 | 2 | |
| C-E2 aplicação em tempo húmido/chuvoso (condições térmicas desfavoráveis) | | 1 | | | | |
| C-E3 deficiente armazenamento/transporte de materiais | | | | | | |
| C-E4 deficiente execução de remates e elementos de proteção associados | | | | | | |
| C-E5 deficiente execução da junta de dilatação | | | 2 | | | |
| C-E6 deficiente execução da junta de sobreposição | | | | | | |
| C-E7 deficiente execução dos tubos de quedas | | | | 2 | | |
| C-E8 deficiente execução de caleiras | | | | | 2 | |
| C-E9 deficiente execução dos tubos ladrão | | | | | | |
| C-E10 deficiente fixação mecânica | | | | | | |
| C-E11 deficiente colocação da membrana de impermeabilização | | 2 | | | | |
| C-E12 pendente deficiente | | | | | 2 | |
| C-A - AÇÕES AMBIENTAIS | | | | | | |
| C-A1 vento | | | | | 2 | |
| C-A2 radiação ultravioleta / solar | 2 | 1 | 1 | | | |
| C-A3 humidade | | 2 | | | | |
| C-A4 presença prolongada de água / chuva | | | | | | |
| C-A5 vegetação | | | | | | |
| C-A6 envelhecimento natural | | | | | | |
| C-A7 ciclos de humificação-secagem | 1 | 2 | | | | |
| C-U - ERROS DE UTILIZAÇÃO / MANUTENÇÃO | | | | | | |
| C-U1 falta de limpeza de detritos na zona corrente | | 1 | | | | |
| C-U2 acumulação / obstrução de detritos nas embocaduras dos tubos de queda ou caleiras | | 1 | | | | |
| C-U3 ausência / inadequada inspeção | | | | | | |
| C-U4 alteração do tipo de utilização da cobertura | | | | | | |
| C-U5 vandalismo | | | | 1 | | |
| C-M - AÇÕES DE ORIGEM MECÂNICA EXTERIOR | | | | | | |
| C-M1 cargas pontuais de natureza dinâmica (curta duração) | 1 | | | | | |
| C-M2 cargas pontuais de natureza estática (permanentes) | | | | | | |

Anexo 5.V

**Comparação entre as matrizes de correlação entre
as anomalias e as causas prováveis
(teórica e na amostra)**

Anexo 5.V - Comparação entre as matrizes de correlação entre as anomalias e as causas prováveis _____

| | A-G1 | A-G2 | A-G3 | A-G4 | A-G5 | A-G6 | A-G7 | A-G8 | A-G9 | A-G10 | A-G11 | A-G12 | A-S1 | A-S2 | A-S3 | A-S4 | A-S5 | A-S6 | A-S7 | A-S8 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| A-G1 | | 67% | 0% | 0% | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 17% | 33% | 17% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| m.c. | | 64% | 23% | 27% | 64% | 14% | 0% | 18% | 0% | 27% | 23% | 23% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| A-G2 | 57% | | 0% | 7% | 71% | 29% | 0% | 0% | 0% | 14% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| m.c. | 39% | | 31% | 28% | 50% | 33% | 6% | 8% | 0% | 19% | 11% | 25% | 11% | 8% | 0% | 0% | 0% | 11% | 0% | 0% |
| A-G3 | 0% | 0% | | 40% | 0% | 0% | 10% | 10% | 10% | 0% | 0% | 20% | 40% | 10% | 10% | 20% | 40% | 40% | 50% | 80% |
| m.c. | 11% | 25% | | 32% | 14% | 14% | 9% | 9% | 9% | 5% | 5% | 34% | 18% | 7% | 5% | 5% | 36% | 36% | 25% | 39% |
| A-G4 | 0% | 6% | 44% | | 11% | 0% | 11% | 0% | 11% | 22% | 22% | 11% | 44% | 11% | 11% | 22% | 44% | 22% | 11% | 44% |
| m.c. | 17% | 28% | 39% | | 39% | 0% | 22% | 0% | 11% | 22% | 11% | 28% | 39% | 6% | 6% | 6% | 22% | 11% | 6% | 47% |
| A-G5 | 75% | 63% | 0% | 13% | | 0% | 0% | 0% | 0% | 13% | 25% | 13% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| m.c. | 58% | 75% | 25% | 58% | | 0% | 17% | 0% | 0% | 17% | 17% | 33% | 17% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| A-G6 | 0% | 33% | 0% | 0% | 0% | | 0% | 33% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| m.c. | 14% | 55% | 27% | 0% | 0% | | 0% | 32% | 0% | 14% | 0% | 27% | 0% | 9% | 0% | 0% | 0% | 18% | 0% | 0% |
| A-G7 | 0% | 0% | 33% | 33% | 0% | 0% | | 0% | 17% | 0% | 0% | 33% | 67% | 17% | 17% | 33% | 33% | 33% | 17% | 33% |
| m.c. | 0% | 25% | 50% | 100% | 50% | 0% | | 0% | 50% | 0% | 0% | 50% | 50% | 25% | 25% | 25% | 50% | 50% | 25% | 50% |
| A-G8 | 0% | 0% | 11% | 0% | 0% | 22% | 0% | | 0% | 33% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| m.c. | 11% | 8% | 11% | 0% | 0% | 18% | 0% | | 37% | 32% | 8% | 8% | 0% | 16% | 0% | 21% | 0% | 0% | 11% | 0% |
| A-G9 | 0% | 0% | 20% | 20% | 0% | 0% | 10% | 0% | | 0% | 0% | 0% | 20% | 10% | 10% | 100% | 20% | 20% | 10% | 20% |
| m.c. | 0% | 0% | 17% | 17% | 0% | 0% | 17% | 58% | | 25% | 8% | 0% | 17% | 8% | 8% | 58% | 17% | 17% | 42% | 17% |
| A-G10 | 13% | 13% | 0% | 25% | 13% | 0% | 0% | 38% | 0% | | 25% | 13% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| m.c. | 25% | 29% | 8% | 33% | 17% | 13% | 0% | 50% | 25% | | 29% | 21% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| A-G11 | 50% | 0% | 0% | 50% | 50% | 0% | 0% | 0% | 0% | 50% | | 50% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| m.c. | 42% | 33% | 17% | 33% | 33% | 0% | 0% | 25% | 17% | 58% | | 58% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| A-G12 | 20% | 0% | 40% | 20% | 20% | 0% | 20% | 0% | 0% | 20% | 40% | | 10% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 40% | 40% |
| m.c. | 15% | 26% | 44% | 29% | 24% | 18% | 12% | 9% | 0% | 15% | 21% | | 0% | 3% | 0% | 0% | 12% | 24% | 24% | 24% |
| A-S1 | 0% | 0% | 44% | 44% | 0% | 0% | 22% | 0% | 11% | 0% | 0% | 6% | | 11% | 11% | 22% | 44% | 22% | 11% | 44% |
| m.c. | 0% | 25% | 50% | 75% | 25% | 0% | 25% | 0% | 25% | 0% | 0% | 0% | | 13% | 13% | 13% | 50% | 25% | 13% | 50% |
| A-S2 | 0% | 0% | 20% | 20% | 0% | 0% | 10% | 0% | 10% | 0% | 0% | 0% | 20% | | 10% | 20% | 20% | 20% | 10% | 20% |
| m.c. | 0% | 0% | 25% | 17% | 0% | 17% | 17% | 50% | 17% | 0% | 0% | 8% | 17% | | 8% | 8% | 17% | 17% | 8% | 17% |
| A-S3 | 0% | 0% | 20% | 20% | 0% | 0% | 10% | 0% | 10% | 0% | 0% | 0% | 20% | 10% | | 20% | 20% | 20% | 10% | 20% |
| m.c. | 0% | 0% | 20% | 20% | 0% | 0% | 20% | 0% | 20% | 0% | 0% | 0% | 20% | 10% | | 10% | 20% | 20% | 10% | 20% |
| A-S4 | 0% | 0% | 20% | 20% | 0% | 0% | 10% | 0% | 50% | 0% | 0% | 0% | 20% | 10% | 10% | | 20% | 20% | 10% | 20% |
| m.c. | 0% | 0% | 11% | 11% | 0% | 0% | 11% | 44% | 78% | 0% | 0% | 0% | 11% | 6% | 6% | | 11% | 11% | 50% | 11% |
| A-S5 | 0% | 0% | 50% | 50% | 0% | 0% | 13% | 0% | 13% | 0% | 0% | 0% | 50% | 13% | 13% | 25% | | 25% | 13% | 50% |
| m.c. | 0% | 0% | 100% | 50% | 0% | 0% | 25% | 0% | 25% | 0% | 0% | 25% | 50% | 13% | 13% | 13% | | 25% | 13% | 50% |
| A-S6 | 0% | 0% | 100% | 50% | 0% | 0% | 25% | 0% | 25% | 0% | 0% | 0% | 50% | 25% | 25% | 50% | 50% | | 75% | 100% |
| m.c. | 0% | 25% | 100% | 25% | 0% | 25% | 25% | 0% | 25% | 0% | 0% | 50% | 25% | 13% | 13% | 13% | 25% | | 63% | 75% |
| A-S7 | 0% | 0% | 100% | 20% | 0% | 0% | 10% | 0% | 10% | 0% | 0% | 40% | 20% | 10% | 10% | 20% | 20% | 60% | | 100% |
| m.c. | 0% | 0% | 55% | 10% | 0% | 0% | 10% | 20% | 50% | 0% | 0% | 40% | 10% | 5% | 5% | 45% | 10% | 50% | | 55% |
| A-S8 | 0% | 0% | 89% | 44% | 0% | 0% | 11% | 0% | 11% | 0% | 0% | 22% | 44% | 11% | 11% | 22% | 44% | 44% | 56% | |
| m.c. | 0% | 0% | 94% | 44% | 0% | 0% | 22% | 0% | 22% | 0% | 0% | 44% | 44% | 11% | 11% | 11% | 44% | 67% | 61% | |

Legenda de cores:

| | |
|--|--------------------------------------------------------------|
| | quando a diferença é maior do que 10% e menor do que 25% |
| | quando a diferença é maior ou igual a 25% e menor do que 50% |
| | quando a diferença é maior ou igual a 50% |
| | quando a diferença é menor ou igual a 10% |